NOVA

1 | 2

VWO | GYMNASIUM
LEEROPDRACHTENBOEK

NASK

MALMBERG



NASK

1 & 2 vwo | gymnasium

Auteurs

F. Alkemade

P. van Hoeflaken

R. Tromp

Met medewerking van

Th. Smits

Vierde editie

MALMBERG 's-Hertogenbosch

www.nova-malmberg.nl

Voorwoord

Het boek dat je nu in je handen hebt, gebruik je bij het vak natuur- en scheikunde. Wat dat vak precies inhoudt, kunnen we niet in een paar woorden uitleggen. Daarom begint dit boek met een korte introductie om je een indruk van het vak te geven.

De methode
Nova bestaat uit een leeropdrachtenboek, digitaal materiaal en een uitwerkingenboek.

In het leeropdrachtenboek vind je alle leerstof die je moet leren. Na elke paragraaf staan opgaven die je helpen om de leerstof te onthouden en toe te passen.
Elk hoofdstuk wordt afgesloten met een aantal proeven (practica) en Test-Jezelfvragen. Bovendien wordt achter in het boek uitgelegd welke vaardigheden je bij het vak nodig hebt.

Basisstof, plusstof en praktijk
De meeste leerstof in het boek werk je samen met de hele klas door. Dit is de basisstof die alle leerlingen moeten kennen. Sommige opgaven zijn pittig. Die zijn met een * gemarkeerd.
Aan het einde van elke paragraaf staat plusstof. Vaak is de plusstof iets moeilijker dan de basisstof.

Aan het einde van elk hoofdstuk staat Praktijk: een artikel waarin een deel van de leerstof wordt besproken aan de hand van een situatie uit het dagelijks leven of de wetenschap. Bij dit artikel staan ook enkele opgaven.

Zelfstandig werken
Met *Nova* kun je goed zelfstandig werken. Je kunt alleen of met een groepje opgaven maken, onderzoek doen of jezelf overhoren met de Test-Jezelf-pagina's. Je zult ook af en toe uitleg krijgen met de hele klas.

Als je zelfstandig werkt, is het handig om een planning te maken. Dat betekent dat je van tevoren opschrijft wat je gaat doen en wanneer.

Natuur- en scheikunde gaat over de wereld om je heen. Het is boeiend en spannend om die wereld te ontdekken. We hopen dat dit boek je daar een handje bij kan helpen.

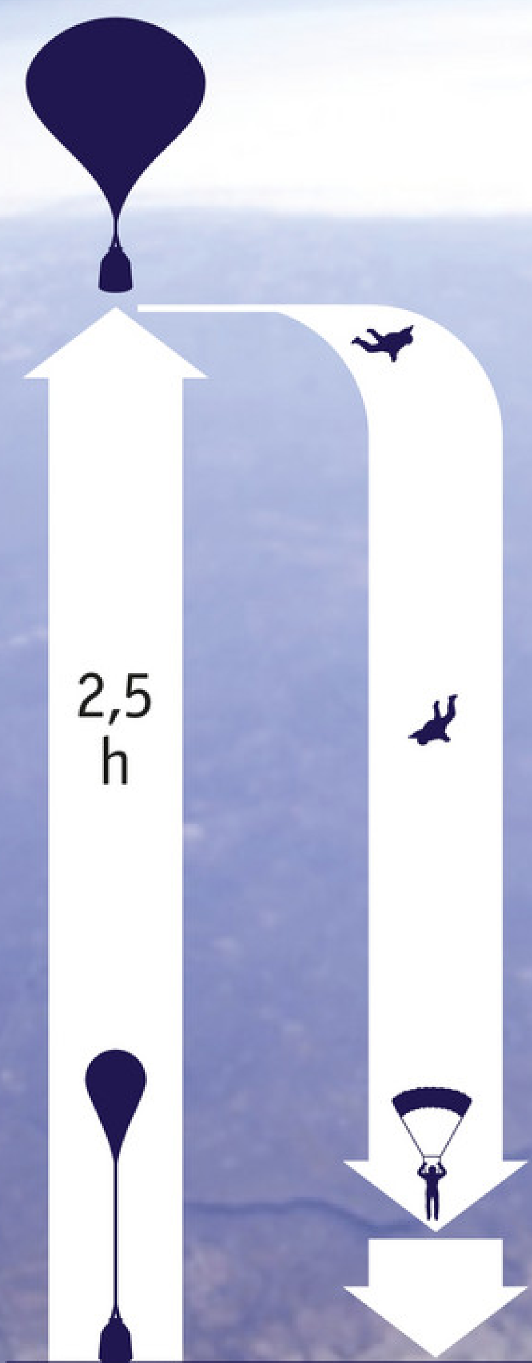
Veel succes!

De auteurs

Inhoudsopgave

1 Introductie

De sprong van Felix Baumgartner



bereikte hoogte:
39 045 m

vrije val:
4 min 19 s

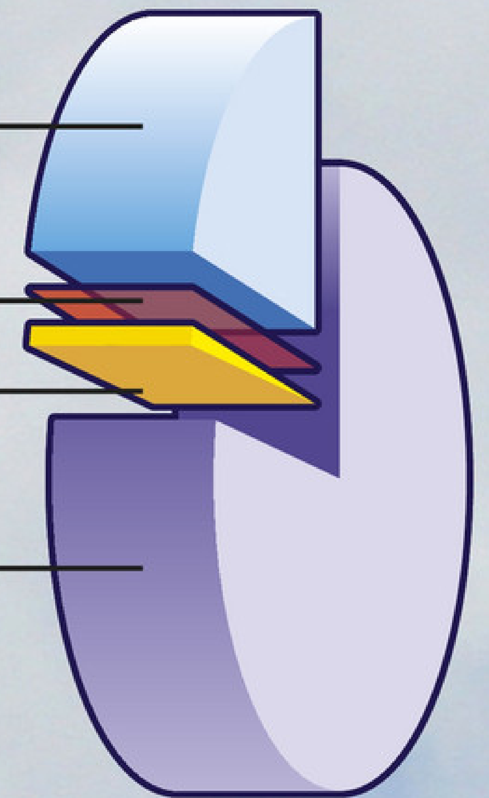
topsnelheid:
1342 km/h
(1,24 x de geluidssnelheid)

parachute open:
ca 2500 m

parachute afdaling:
ca 5 min

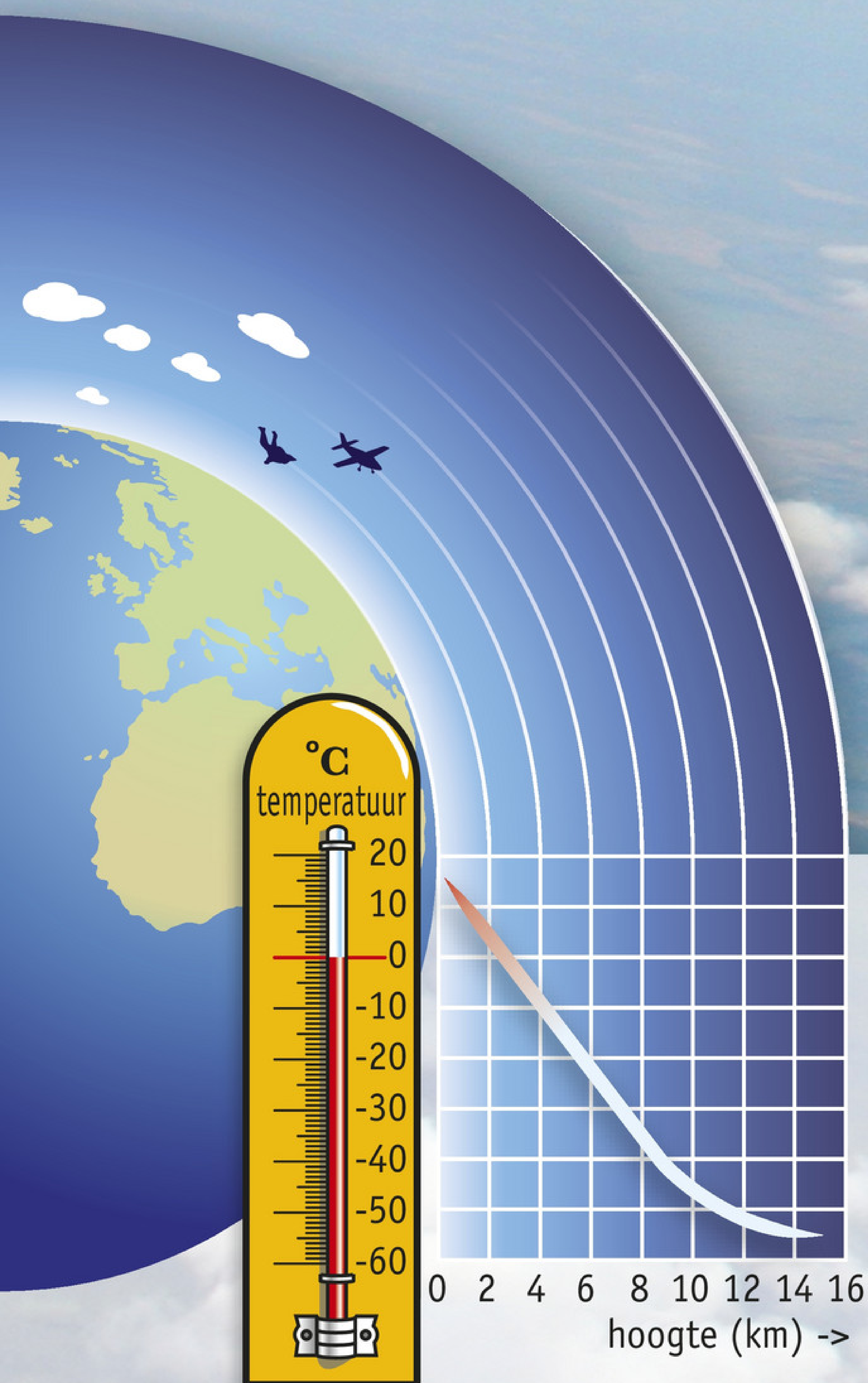


De samenstelling van lucht



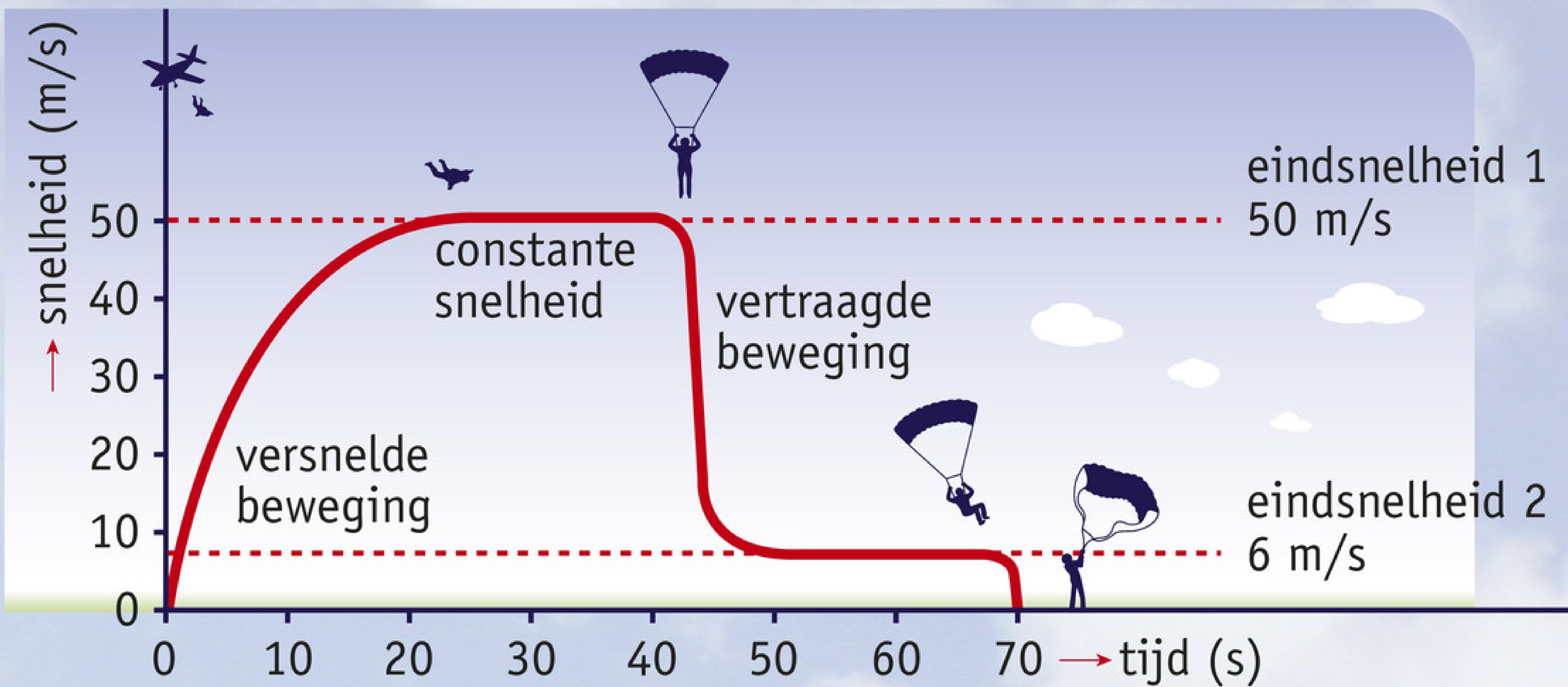
Lucht is een mengsel van stikstof en zuurstof en kleine hoeveelheden andere gassen.





Temperatuur en hoogte

Hoe hoger je komt, des te kouder het wordt.
Op 4 km hoogte - de hoogte waarop een geoefend skydiver uit het vliegtuig stapt - vriest het dat het kraakt.



Hoe is het op 4 km hoogte?

	dichtheid lucht	geluidssnelheid	luchtdruk	temperatuur
4 km	0,82 g/cm^3	1166 km/h	620 mbar	-11 °C
zee-niveau	1,38 g/cm^3	1224 km/h	1020 mbar	18 °C

Natuurwetenschappen:

van ontdekking naar toepassing



▲ **figuur 1**
Als je een berg op rijdt, merk je dat aan je oren.

Natuurwetenschappers hebben talloze verschijnselen onderzocht. Bij het vak natuur- en scheikunde maak je kennis met de ontdekkingen die ze hebben gedaan en met de theorie die erbij hoort. Je komt ook toepassingen van die theorie tegen, zoals apparaten uit het dagelijks leven. En bijvoorbeeld ook instrumenten en stoffen die worden gebruikt door onderzoekers in een laboratorium of bij bepaalde beroepen.

Onderzoek doen

Natuurwetenschappers onderzoeken hoe de wereld in elkaar zit. Ze kijken naar een **verschijnsel** en vragen zich af: wat gebeurt er precies en hoe zou dat komen? Als natuurwetenschapper wil je de 'natuur' kennen van de dingen om je heen: de manier waarop de dingen in elkaar zitten en werken. Je wilt dus niet alleen weten *wat* er gebeurt. Je wilt er ook achterkomen *waarom* het zo gaat en niet anders.

Een verschijnsel is iets wat je kunt waarnemen. Denk bijvoorbeeld aan het vervelende gevoel in je oren dat ontstaat als je in een auto een berg oprijdt (figuur 1). Dat neem je waar, of je wilt of niet. Als natuurwetenschapper wil je meer over zo'n verschijnsel weten. Je onderzoekt bijvoorbeeld:

– of het uitmaakt hoe snel de auto de berg oprijdt;
– of de hoogte en de steilheid van de berg verschil maken;
– of mensen ook iets voelen als ze de berg weer afrijden.

Nadat je het verschijnsel nauwkeurig in kaart hebt gebracht, stel je de volgende vraag: "waardoor krijg je dat gevoel in je oren?" Of, anders geformuleerd: "Hoe kun je dat gevoel verklaren?" Dat zoeken naar een **verklaring** is kenmerkend voor alle natuurwetenschappen. Je bent pas tevreden als je begrijpt wat er achter een verschijnsel zit.

Al eeuwen zijn er natuurwetenschappers actief. Een van de eerste was Archimedes van Syracuse die rond 250 voor Christus leefde. Hij deed onderzoek naar onder andere drijvende voorwerpen en schreef daar een boek over. Het verhaal gaat dat hij op een dag een geniale inval kreeg in het badhuis en daarna naakt de straat op rende onder het uitroepen van 'Heurèka' (eureka), Grieks voor: 'Ik heb het gevonden'.

Sinds Archimedes zijn er voor allerlei verschijnselen goede verklaringen gevonden, ook voor dat vervelende gevoel in je oren als je in een auto een berg oprijdt. Je kunt daar meer over lezen in hoofdstuk 4. Toch is er voor jonge wetenschappers nog veel te onderzoeken. Veel verschijnselen wachten nog op een verklaring.

Toepassingen bedenken

Als je eenmaal hebt ontdekt hoe een verschijnsel in elkaar zit, kun je daar gebruik van maken. Bij het vak natuur- en scheikunde leer je daarom niet alleen over de ontdekkingen die natuurwetenschappers hebben gedaan. Je maakt ook kennis met **toepassingen** van die ontdekkingen.



▲ **figuur 2**
de hoogtemeter op de arm van een parachutist

Een van die toepassingen begon met een discussie over de 'natuur' van de luchtdruk: waardoor wordt die druk veroorzaakt? Een natuurwetenschapper kwam op het idee om een barometer – een instrument om de luchtdruk te meten – mee te nemen naar de top van een berg. Zo werd ontdekt dat de luchtdruk afhangt van de hoogte: hoe hoger je komt, des te lager is de luchtdruk.

Deze ontdekking werd al snel toegepast bij het ontwerpen van een hoogtemeter. Zo'n meter leidt uit de luchtdruk af op welke hoogte je je bevindt. Moderne hoogtemeters werken nog steeds volgens dit principe. Parachutisten die een vrije val maken, gebruiken zo'n meter om te bepalen wanneer ze hun parachute moeten opentrekken.

In de uitrusting van een parachutespringer is nog veel meer natuurwetenschappelijke kennis verwerkt. Om te beginnen in de parachute zelf, maar ook in de veiligheidshelm, de beschermende kleding en de zonnebril. Niet alleen het ontwerp, maar ook de gebruikte materialen zijn tot stand gekomen op basis van jarenlang onderzoek

opdracht

1 Toepassingen van natuurwetenschappen kom je overal tegen. Bij deze opdracht ga je een PowerPoint-dia maken met informatie over zo'n toepassing.

- **a** Zoek een mooie foto van zo'n toepassing. Gebruik een van de foto's op bladzijde 10 en 11 of zoek zelf een geschikte foto.
- **b** Zet de foto op een PowerPoint-dia (liggend formaat) en zorg ervoor dat hij de hele dia vult.
- **c** Zoek informatie over de toepassing en over de natuurwetenschappelijke kennis die erin is verwerkt. Dat kan in de vorm van plaatjes en/ of tekst.
- **d** Rangschik de informatie die je hebt gevonden op de dia. Gebruik de afbeelding op bladzijde 6 en 7 als voorbeeld.
  Je docent zal je vertellen hoe je het eindproduct aan de klas gaat presenteren.

2 Zoek informatie over Archimedes en beschrijf in ongeveer vierhonderd woorden zijn belangrijkste ontdekkingen.

Om te onderzoeken: Hoe meet een arts je bloeddruk, gewicht, longinhoud, hartslag en ademhalingsfrequentie? Hoe zien de meetinstrumenten eruit?

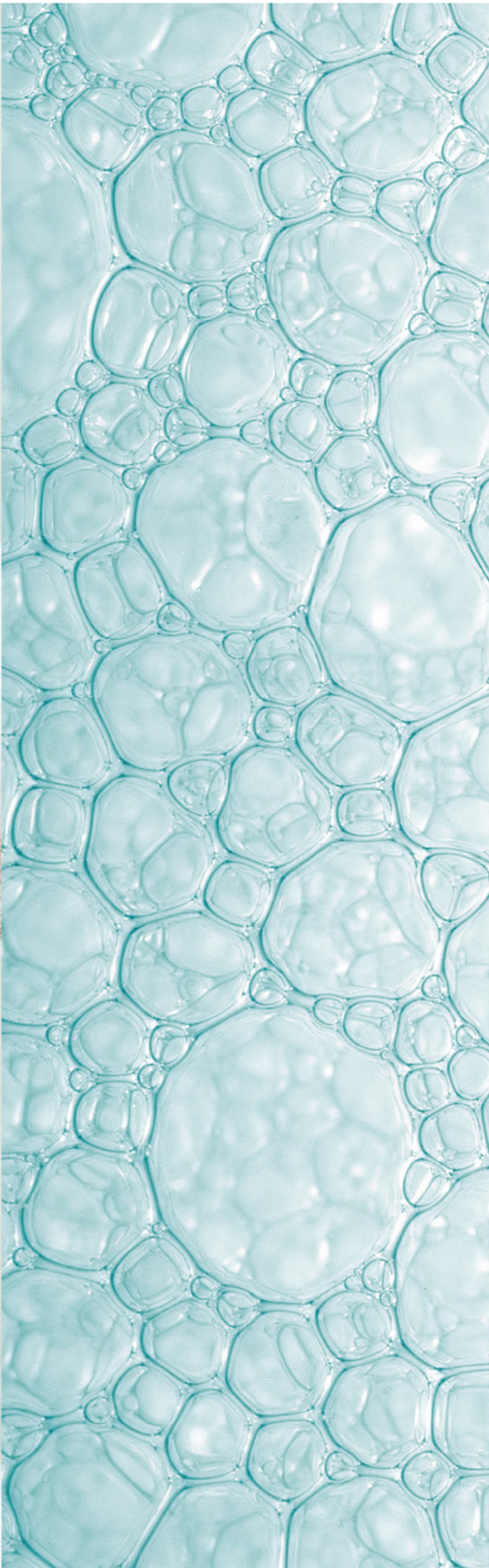
Om te onderzoeken: Hoe werkt de spiegel in de telescoop? Wat wordt bedoeld met brandpunt, infrarode en ultraviolette straling? Wat is een spectrum?

Om te onderzoeken: Hoe werkt zo'n zonnepaneel? Hoe kun je de elektrische energie opslaan? Waarom is er gekozen voor led-lampen?



Om te onderzoeken: Welke rol speelt zuurstof bij een brand? Wat is er nodig om een brand te laten ontstaan? Hoe kan een brand geblust worden?





2 Stoffen

Werken met stoffen

Stoffen kom je overal tegen. In de keuken vind je bijvoorbeeld keukenzout, water, olijfolie en afwasmiddel, maar ook metalen als ijzer en aluminium. Op school staan in het scheikundelokaal allerlei stoffen zoals magnesium, jood, zwavelzuur, ether en ethanol. Sommige van die stoffen staan in een aparte chemicaliënkast, omdat ze gevaarlijk zijn.

1 Stofeigenschappen



▲ figuur 1
In een laboratorium wordt vaak hard en heel precies gewerkt (het Latijnse *laborare* = zich inspannen).

Je hebt bij het woord laboratorium misschien een beeld van borrelende flesjes en mannen in witte jassen. In werkelijkheid zijn er allerlei soorten laboratoria en werken er naast mannen ook veel vrouwen (figuur 1). Ze werken met veel verschillende stoffen. Ook het scheikundelokaal op school is een soort laboratorium. De stoffen in het scheikundelokaal gebruik je voor scheikundeproeven.

Stoffen herkennen Proef 1

Sommige stoffen lijken veel op elkaar. Water en alcohol zien er bijvoorbeeld precies hetzelfde uit. Het zijn alle twee heldere, kleurloze vloeistoffen. Als je de stof niet herkent, kan het helpen om aan de stof te ruiken. Veel stoffen hebben een kenmerkende geur waaraan je ze meteen herkent. Denk aan de geur van benzine of de geur van het chloorgas dat je in een zwembad ruikt.

Je moet daarbij wel oppassen: sommige stoffen kunnen de slijmvliezen van je neus en je longen irriteren. Ruik daarom voorzichtig: haal de dop van de fles, zwaai met je hand boven de fles heen en weer en snuif een beetje van de damp op (figuur 2). Zo voorkom je dat je te veel van een irriterende stof binnenkrijgt.

Eigenschappen waaraan je stoffen kunt herkennen, noem je **stofeigenschappen**. Je kunt ze gebruiken om stoffen van elkaar te onderscheiden. Voorbeelden van stofeigenschappen zijn:
- **geur**: alcohol heeft een andere geur dan terpentine.
- **kleur**: koper is rood-oranje, goud is geel, lood is grijs.
- **smaak**: suiker smaakt zoet, keukenzout smaakt zout.
- **brandbaarheid**: benzine is brandbaar, water niet.



▶ figuur 2
Zo kun je veilig aan een fles ruiken.

pictogram	betekenis + uitleg
	corrosief kan materialen, ogen en huid ernstig aantasten
	explosief kan door een vonk of schok ontploffen
	licht ontvlambaar kan heel gemakkelijk in brand vliegen
	brandbevorderend kan brandbare stoffen heviger laten branden
	giftig kan je ernstig ziek maken / dodelijk zijn
	schadelijk is schadelijk, kan ogen en huid irriteren

▲ **figuur 3**
zes gevarensymbolen en hun betekenis

Stoffen en veiligheid

Sommige stoffen kunnen gevaarlijk zijn en ook thuis kom je stoffen tegen die risico's opleveren. Spiritus, wasbenzine, chloor en ammonia bijvoorbeeld. Een stof kan gevaarlijk zijn:

- als je de stof inademt (bijvoorbeeld benzinedamp);
- als je de stof inslikt (bijvoorbeeld spiritus);
- als je de stof op je huid, in je ogen of op je kleren krijgt (bijvoorbeeld bleekmiddel);
- als je met vuur bij de stof komt (bijvoorbeeld alcohol);
- als je de stof met een andere stof mengt (bijvoorbeeld toiletreiniger gemengd met urine).

Daarom staan er waarschuwingen op de verpakkingen van gevaarlijke stoffen. De gevaren worden bovendien aangegeven met pictogrammen. Zo'n pictogram heet ook wel een **gevarensymbool**. In figuur 3 zie je zes gevarensymbolen met hun betekenis.

Onderzoekers zijn uitgebreid getraind om veilig te werken. Licht ontvlambare stoffen bijvoorbeeld bergen ze zo op dat de stoffen niet in de buurt van vuur kunnen komen. Sommige stoffen zijn zo gevaarlijk dat ze in een speciale kast of kluis geplaatst moeten worden (figuur 4). Daarin moet ook een afzuigsysteem zitten.



▲ **figuur 4**
In een lab moeten sommige stoffen veilig opgeborgen worden.

Plus R-zinnen en S-zinnen

In figuur 5 zie je het etiket van een pot waarin natriumhydroxide zit. Dat is een stof die bijvoorbeeld gebruikt wordt als gootsteenontstopper en bij de fabricage van zeep en kleurstoffen. Op het etiket staan behalve pictogrammen ook R- en S-zinnen. Een **R-zin** geeft aan voor welk gevaar je moet oppassen. De R staat voor *risk,* ofwel risico. Een **S-zin** geeft aan welke veiligheidsmaatregelen je moet nemen. De S staat voor *safety,* ofwel veiligheid.

Natriumhydroxide is een corrosieve stof en kan ogen en huid ernstig aantasten. De R-zin op het etiket maakt het gevaar duidelijk: de stof veroorzaakt ernstige brandwonden. In de S-zinnen staan passende veiligheidsmaatregelen, zoals in S37/39: draag handschoenen en bescherm je ogen, bijvoorbeeld met een veiligheidsbril. Een fabrikant van stoffen mag de R- en S-zinnen niet zelf bedenken, maar moet zich houden aan een officieel vastgestelde lijst.

Die R- en S-zinnen zijn niet over de hele wereld hetzelfde en daarom bestaat er vanaf 2015 wereldwijd een nieuwe lijst: het GHS (*Globally Harmonised System of Classification and Labelling of Chemicals*). In deze lijst zijn de R-zinnen vervangen door H-zinnen en de S-zinnen door P-zinnen. Daarbij staat H voor *hazard* ofwel gevaar en P voor *precaution* ofwel voorzorgsmaatregel.

Omdat de namen in 2015 gaan veranderen gebruiken we in dit boek de aanduidingen R/H-zinnen en S/P-zinnen.

▼ **figuur 5**
de veiligheidsinformatie voor natriumhydroxide



opgaven

1 Elke stof heeft stofeigenschappen.
- **a** Leg uit wat wordt bedoeld met een 'stofeigenschap'.
- **b** Geef vier stofeigenschappen.
- **c** Noteer een kenmerkende stofeigenschap van elk van de volgende stoffen: azijn, goud, benzine, suiker, olijfolie en diamant.

2 Je kunt stoffen indelen in groepen, zoals voedingsmiddelen (A), schoonmaakmiddelen (B) en brandstoffen (C).
Noteer van elke stof hieronder bij welke groep(en) hij hoort.
- **a** ammonia
- **b** azijn
- **c** chloorbleekmiddel
- **d** kaarsvet
- **e** hout
- **f** water
- **g** slaolie
- **h** spiritus
- **i** terpentine

3 Op een tafel in een laboratorium staan drie stoffen:
- een corrosieve stof;
- een licht ontvlambare stof;
- een brandbevorderende stof.

a Leg van elke stof uit waarom deze gevaarlijk is.
b Geef van elke stof aan welk symbool uit figuur 6 erbij hoort.

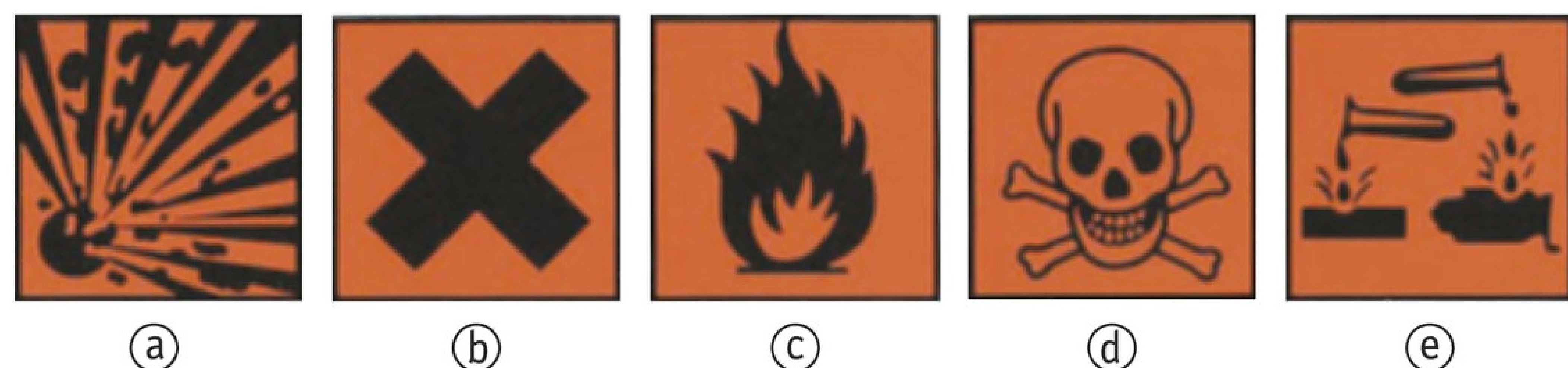


▶ **figuur 6**
zes gevarensymbolen

4 Carlo heeft in zijn schuur een fles met mineraalwater, een fles met alcohol en een fles met wasbenzine staan. Na verloop van tijd zijn de etiketten op de flessen onleesbaar geworden. Bovendien zien de drie flessen er precies hetzelfde uit en zijn ze afgesloten.
a Hoe kan hij erachter komen welke stof in welke fles zit?
b Aan welke stofeigenschap kan hij deze stoffen dus herkennen?

5 Een stof kan er bij verschillende temperaturen verschillend uitzien.
a Hoe kan kaarsvet er uitzien?
b Hoe kan water er uitzien?

6 De symbolen van figuur 3 zijn de opvolgers van de symbolen in figuur 7.
a Noteer bij elke van de vijf symbolen in figuur 7 waarvoor zij waarschuwen.
b Welk symbool van vroeger is vervangen door een ander symbool en waarom zou men dat gedaan hebben?



▶ **figuur 7**
gevarensymbolen van vóór 2015

7 Het woord 'stof' heeft in het dagelijks leven andere betekenissen dan in het lab. Geef twee andere betekenissen van dat woord.

***8** Als je met gevaarlijke stoffen werkt, geldt de regel: voorkomen is beter dan genezen. Een rokende automobilist doet daarom eerst zijn sigaret uit voor hij benzine gaat tanken.
Bedenk een passende veiligheidsmaatregel voor iemand:
a die in een lab met natriumhydroxide werkt (corrosief);
b die voordat hij gaat verven de deur schoonmaakt met ammonia (irriterend);
c die een vetvlek uit zijn broek haalt met wasbenzine.

Plus R-zinnen en S-zinnen

9 Op het etiket van een fles brandspiritus staan zes zinnen:

A Licht ontvlambaar.
B In goedgesloten verpakking bewaren.
C Verwijderd houden van ontstekingsbronnen. Niet roken.
D Gevaarlijk bij inwendig gebruik.
E Buiten bereik van kinderen bewaren.
F In geval van inslikken onmiddellijk een arts raadplegen en de verpakking of het etiket tonen.

a Geef van elke zin aan of het om een R/H-zin of S/P-zin gaat.
b In welke zinnen staan maatregelen om ongelukken te voorkomen?
c Welke zin vertelt je wat je moet doen als er toch iets fout gaat?
d Welk gevarensymbool hoort er op dit etiket te staan?

10 Zoek op internet een overzicht van alle S/P-zinnen.
Noteer een S/P-zin die je kunt tegenkomen:
a op de verpakking van een corrosieve stof;
b op de verpakking van een giftige stof;
c op de verpakking van een licht ontvlambare stof;
d op de verpakking van een brandbevorderende stof.

***11** Een verstopte afvoer kun je weer open maken door er ontstopper in te gieten. Die vloeistof bevat de stof natriumhydroxide.
a Door welke eigenschap van natriumhydroxide doet de ontstopper zijn werk? Licht je antwoord toe.
b Op het etiket van een fles vloeibare ontstopper staat: *?45: In geval van ongeval of indien men zich onwel voelt, onmiddellijk een arts raadplegen (indien mogelijk hem dit etiket tonen)*. Welke twee van de volgende vier letters kunnen op de plaats van het vraagteken staan: R, H, S of P?
c Waarom is het belangrijk dat je de arts het etiket laat zien?

2 Zuivere stoffen en mengsels

Veel stoffen zijn mengsels. Dat zie je meteen als je op de etiketten kijkt van de potten en flessen waarin die stoffen zitten. Daarop staat bijna altijd een lijst met twee of meer namen van stoffen. Als er meer dan één stof in een product zit, is het altijd een mengsel.

Mengsels en zuivere stoffen

In het dagelijks leven noem je sommige stoffen 'puur' of 'zuiver'. Een oude munt kan van puur zilver zijn en de alcohol voor het ontsmetten van een wond noemen mensen vaak pure alcohol. Bronwater uit een fles wordt ook wel zuiver water genoemd. Iedereen begrijpt wat er met die woorden bedoeld wordt, maar let op! Bij nask gebruik je nooit het woord 'puur' en je noemt een stof alleen maar 'zuiver' als er maar één stof in zit. Bij nask zit er in zuiver water dus alleen maar de stof water en niets anders. Als er een andere stof is toegevoegd, is het een **mengsel**. Een mengsel bevat dus altijd twee of meer stoffen.

Stoffen die geen mengsels zijn, worden **zuivere stoffen** genoemd. Voorbeelden van zuivere stoffen zijn wit kopersulfaat (figuur 8) en gedestilleerd water. Bronwater is geen zuiver water, maar een mengsel van water en mineralen. Sieraden zijn bijna nooit van zuiver goud, omdat dat te zacht is. Daarom worden er andere metalen aan toegevoegd.

De samenstelling van mengsels

Soms is het belangrijk om te weten wat de precieze samenstelling van een mengsel is. Je wilt niet alleen weten welke stoffen er in het mengsel zitten, maar ook in welke hoeveelheden. Er zijn verschillende manieren om dat aan te geven.

▼ **figuur 8**
a Kopersulfaat in zuivere vorm is wit.
b Kopersulfaat gemengd met water is blauw.







minerale samenstelling

calcium	105 mg/L
magnesium	16 mg/L
natrium	6 mg/L
kalium	3 mg/L

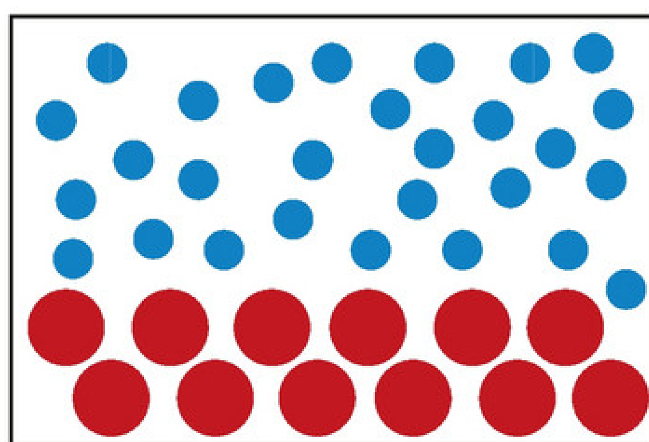
▲ figuur 9
de informatie op een flesje mineraalwater

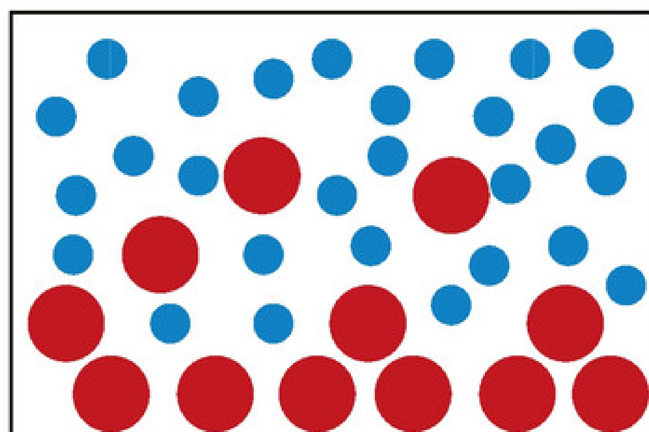
Bij drinkwater wordt de **concentratie** van de opgeloste stoffen vaak aangegeven in milligram per liter. Het mineraalwater in figuur 9 bevat bijvoorbeeld 105 mg calcium per liter. Dat betekent dat een liter van dit mineraalwater 105 milligram calcium bevat. In een flesje van 500 mL zit dus 105 : 2 = 52,5 mg calcium.

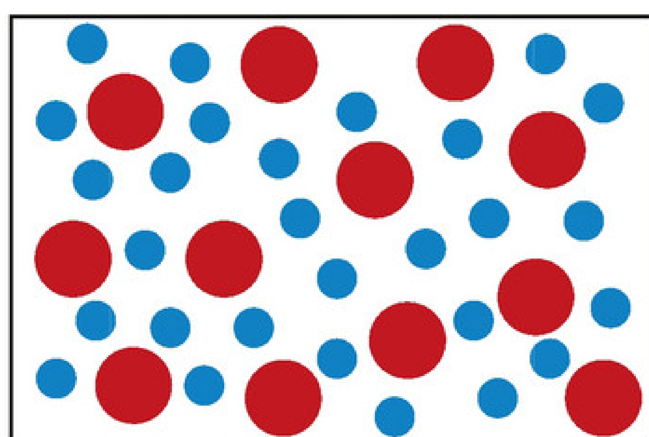
Oplossingen

Als je een vaste stof mengt met een vloeistof en die vloeistof wordt na flink roeren niet troebel, dan heb je een **oplossing** gemaakt. De vloeistof is dan het **oplosmiddel**. De stof die in het oplosmiddel zit, wordt de **opgeloste stof** genoemd. Er kunnen ook meerdere stoffen zijn opgelost. Een voorbeeld van een oplossing krijg je als je suiker in water doet en goed roert. Je ziet dan dat de suikerkorreltjes verdwijnen. Je zegt dat het suiker oplost in het water. Dat de suiker niet echt verdwenen is, merk je als je de oplossing proeft: die smaakt nu zoet.

Stoffen bestaan uit kleine deeltjes die **moleculen** worden genoemd. Als een vaste stof zoals suiker oplost, verspreiden de moleculen van die stof zich tussen de moleculen van het oplosmiddel. In figuur 10 kun je zien hoe je je dat kunt voorstellen. Na een tijdje is de vaste stof volledig opgelost. De moleculen van de opgeloste stof worden dan aan alle kanten omringd door moleculen van het oplosmiddel.







▲ figuur 10
Als suiker oplost, verspreiden de suikermoleculen zich tussen de watermoleculen.

Suspensies Proef 2

Oplossingen zijn helder en blijven altijd gemengd. Als je een suikeroplossing een jaar lang afgesloten laat staan, dan is deze nog net zo helder als op de dag dat je de oplossing maakte. Als een mengsel troebel (ondoorzichtig) wordt en na verloop van tijd ontmengt, kan het geen oplossing zijn.
Een voorbeeld hiervan is verf. Als je een pot met verf een tijd laat staan, is de vloeistof in de pot onderin veel dikker dan bovenin. Dat komt omdat verf een mengsel is van twee vloeistoffen (bindmiddel en verdunner) waarin verfdeeltjes zitten. Die verfdeeltjes (het pigment) bepalen de kleur. Als je een pot lange tijd laat staan, zakken de verfdeeltjes naar de bodem. Verf is dus geen oplossing. Verf is een voorbeeld van een **suspensie**: een vloeistof waarin een fijn verdeelde vaste stof zweeft. Je moet verf daarom altijd eerst goed roeren voordat je gaat verven.

De grootte van moleculen

Moleculen zijn onvoorstelbaar klein. Hun afmetingen worden daarom gemeten in nanometers. Eén nanometer is een miljardste deel van een meter: 1 nm = 0,000 000 001 m. De diameter van een watermolecuul is ongeveer 0,15 nanometer. Een suikermolecuul is iets groter, met een diameter van 1 nanometer.

Stel je voor dat je een pingpongbal kunt ‘opblazen’ tot de grootte van de aarde. Als je een watermolecuul op dezelfde manier zou ‘opblazen’, dan zou die even groot worden als de pingpongbal. De aarde is ongeveer 300 miljoen keer zo groot als een pingpongbal, en een pingpongbal is ongeveer 300 miljoen keer zo groot als een watermolecuul (figuur 11).







▲ **figuur 11**
Van een watermolecuul naar een pingpongbal is een even grote stap als van een pingpongbal naar de aarde.

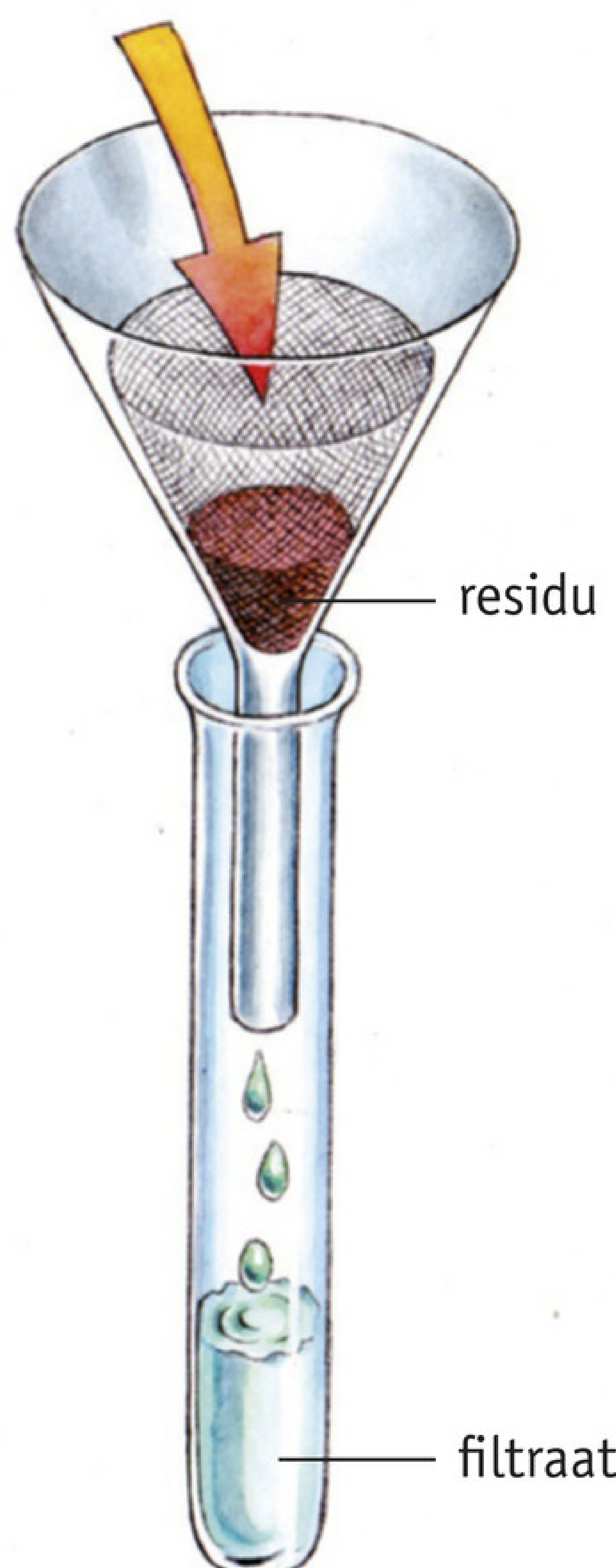
Omdat moleculen zo klein zijn, kunnen ze ook door heel kleine openingen stromen. Dat merk je als je een oplossing in een filter giet. Er blijft niets in het filter achter. De moleculen kunnen het **filter** passeren door kleine openingen (poriën) tussen de papiervezels. Ook al zijn die openingen voor mensen niet zichtbaar, voor moleculen zijn het enorme gaten.

Filtreren en extraheren Proef 3 en 4

Je kunt stoffen in een mengsel op allerlei manieren van elkaar scheiden. In figuur 12 zie je hoe dat gaat bij een suspensie. Je giet de suspensie op een filterpapiertje dat in een (glazen) trechter of in een andere filterhouder zit. De vloeistof kan door het filter heen, maar de vaste deeltjes blijven achter op het filterpapier.

Wat in het filter achterblijft na het filtreren, is het **residu** (van het Latijnse *residere* = ‘overblijven’). Wat wel door het filter heen loopt, is het **filtraat**. Bij experimenten op school zul je af en toe **filtreren**.

Je kunt stoffen ook scheiden door te **extraheren**. Je gebruikt het filter dan op een andere manier. Je doet bijvoorbeeld zeezand in het filter en je giet er water overheen. Het zout in het zand lost op en komt terecht in het filtraat. Het residu is zand zonder zout.
Extractie wordt toegepast bij het maken van parfums. Als je in een filter rozenblaadjes legt en er daarna een geschikte vloeistof overheen giet, dan zul je zien dat het filtraat een beetje de kleur en de geur van de blaadjes aanneemt. Je gebruikt de vloeistof dan als oplosmiddel om de geur- en kleurstoffen uit de bloemblaadjes te halen. De naam extraheren komt van de Latijnse woorden *ex* = ‘uit’ en *trahere* = ‘trekken’.



▲ **figuur 12**
filtreren



▲ figuur 13
In parfum zit nog vaak alcohol als oplosmiddel voor de geurstoffen.

Alcohol als oplosmiddel

Er zijn stoffen die niet in water oplossen, zoals vetten en oliën. Voor deze stoffen heb je een ander oplosmiddel nodig, zoals alcohol of wasbenzine. Je kunt alcohol bijvoorbeeld gebruiken om voorwerpen vetvrij maken. Je doet alcohol op een doek en daarna veeg je ermee over het voorwerp. Het vet lost dan op in de alcohol.

Alcohol wordt in allerlei producten als oplosmiddel gebruikt. Voorbeelden zijn parfum (figuur 13), deodorant en bepaalde soorten inkt en lak. Sommige stiften hebben inkt ‘op alcoholbasis’. Als je met zo’n stift schrijft of tekent, verdampt de alcohol en blijven de kleurstoffen achter.

De stof die mensen in het dagelijks leven alcohol noemen, heet in de scheikunde **ethanol**. Als er op een etiket ethanol staat, wordt daarmee ‘gewone’ alcohol bedoeld: dezelfde stof die in bier en wijn zit. Scheikundigen gebruiken het woord alcohol als een verzamelnaam voor een hele groep stoffen. Voor hen is ethanol een van de vele soorten alcohol.



Plus Oplossingen van zuren

Zuren zijn een belangrijke groep stoffen in de scheikunde. Bekende zuren uit het dagelijks leven zijn citroenzuur en azijnzuur. Scheikundigen gebruiken daarnaast ook veel andere zuren, zoals waterstofchloride (zoutzuur), mierenzuur en zwavelzuur.
Zuivere zuren zijn duur en worden bijna niet gebruikt. Bij het practicum gebruik je daarom alleen oplossingen van zuren in water.
Bij zuren wordt de concentratie niet aangegeven in mg/L, maar met een percentage. In figuur 14 zie je het etiket van een container met een azijnzuuroplossing. Op dat etiket staat: 70%. Dat betekent dat 100 mL azijnzuuroplossing, 70 mL azijnzuur en 30 mL water bevat. Het gaat hier om 70% van een volume en daarom heet dit een **volumeprocent** (vol.% of % vol.).

◀ figuur 14
het etiket op een container met azijnzuur



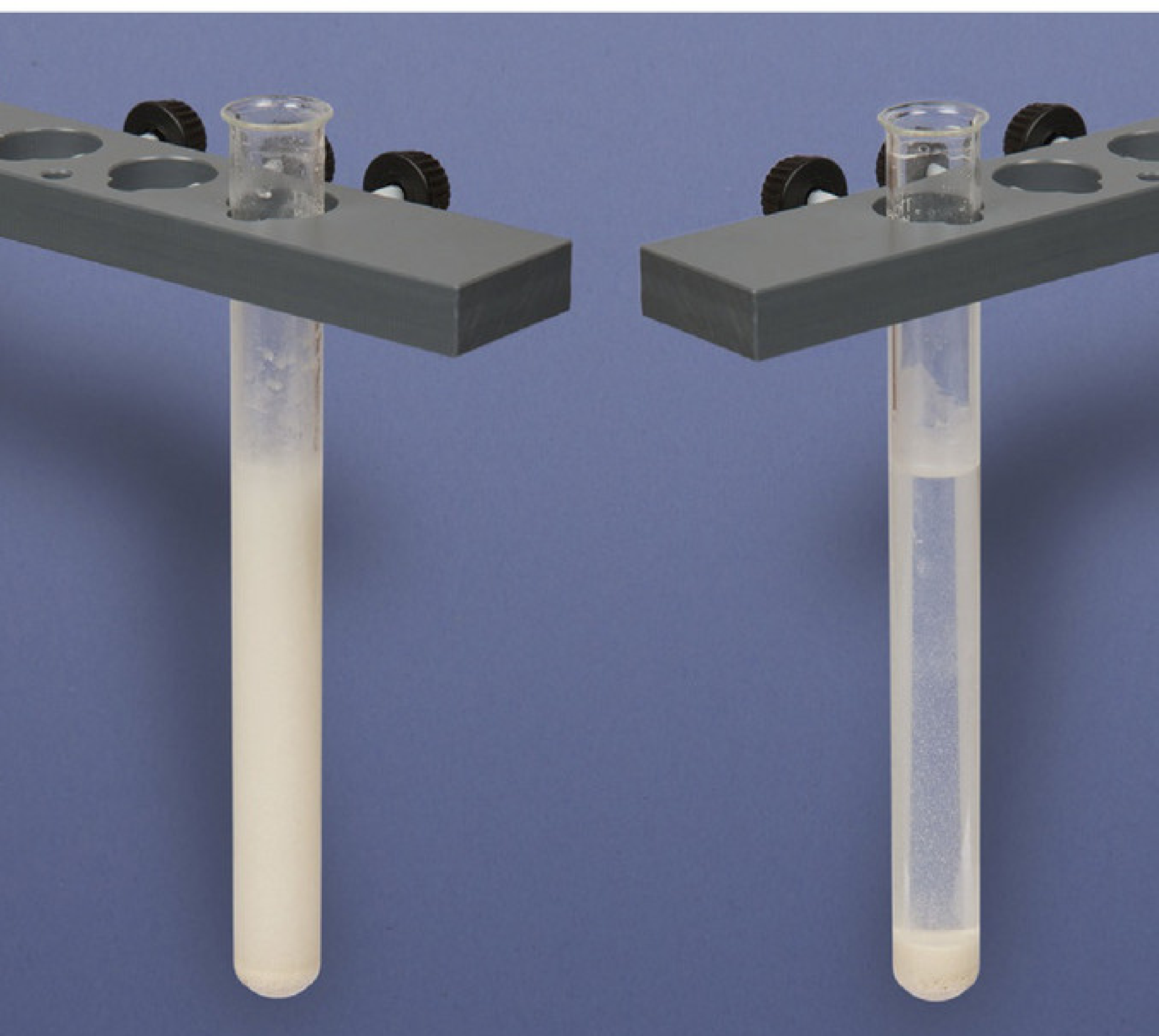
Zuren zijn bij een hoge concentratie erg corrosief. Je moet er dus voorzichtig mee omgaan. Geconcentreerd zoutzuur bijvoorbeeld kan ernstige brandwonden veroorzaken. Maar in een lage concentratie is zoutzuur nuttig. Aannemers gebruiken het bijvoorbeeld om na een verbouwing cementvlekken van vloeren en bakstenen te verwijderen. Zoutzuur is ook onmisbaar bij de productie van computerchips.
In sommige delen van Nederland zit er veel kalk in het water (hard water). Daardoor ontstaat kalkaanslag in bijvoorbeeld waterkokers. Met schoonmaakazijn, een lage concentratie van azijnzuur in water, kun je die aanslag verwijderen. Keukenazijn heeft een volumepercentage van 10% azijnzuur. Deze soort azijn gebruik je bij het maken van een dressing voor salades (figuur 15).

◀ **figuur 15**
De azijn in sladressing is een oplossing van azijnzuur in water.

opgaven

12 Noteer of de volgende uitspraken waar zijn of onwaar.
- **a** Als je koffie zet, gebruik je water als oplosmiddel.
- **b** Oplossingen zijn altijd kleurloos (net zoals water).
- **c** Een suspensie blijft op den duur niet gemengd.
- **d** Een suspensie is altijd helder: je kunt er doorheen kijken.
- **e** Suspensies en oplossingen zijn geen zuivere stoffen.
- **f** De meeste stoffen in het dagelijks leven zijn mengsels.

13 Noteer van elk van de volgende stoffen of het een oplossing of een suspensie is. Zet er steeds bij waarom je dat denkt.
- **a** thee met suiker
- **b** sinaasappelsap
- **c** een mengsel van heel fijn zand en water
- **d** cola



▲ **figuur 16**
de proef van Charlotte

14 Charlotte doet een spatelpunt wit poeder in een reageerbuis. Ze voegt gedestilleerd water toe en schudt. In figuur 16 zie je hoe de inhoud van de reageerbuis eruitziet: meteen na het schudden (links) en één uur later (rechts).
- **a** Waaraan zie je dat het witte poeder niet is opgelost?
- **b** Welk soort mengsel is er na het schudden ontstaan?
- **c** Wat is er na een uur met het mengsel gebeurd?



▲ **figuur 17**
thee zetten

15 Met een theezakje kun je thee zetten (figuur 17).

a Is dit extraheren, filtreren of allebei?

b Wat is bij figuur 17 het oplosmiddel, het filter, het filtraat en het residu?

***16** In de uitlaatgassen van auto's met een dieselmotor zitten kleine roetdeeltjes. Die deeltjes adem je in en dat is schadelijk voor je gezondheid. Elke dieselauto heeft daarom een roetfilter.

a Wat is de taak van het roetfilter?

b Leg uit waarom het roetfilter na een paar honderd kilometer niet meer goed werkt.

c Leg uit waarom het vervangen van het roetfilter geen goede oplossing is.

d Het probleem wordt opgelost door na een paar honderd kilometer het filter automatisch schoon te branden.
Wat gebeurt er tijdens de verbranding in het filter?

***17** Soms kun je de stoffen in een mengsel scheiden door het mengsel te filtreren.

a Leg uit:
- waarom dat wel lukt met een suspensie;
- waarom dat niet lukt met een oplossing.

b Stel je voor: iemand maakt een model van watermoleculen in een filter. De watermoleculen krijgen in dit model de grootte van een pingpongbal. De openingen in papieren filters hebben een doorsnede van 10 tot 25 micrometer (1 micrometer = een miljoenste deel van een meter = 0,000 001 m).
Hoe groot worden de openingen in het filter als je die op dezelfde schaal weergeeft? Schrijf je berekening op.

18 Ethanol is een bestanddeel van allerlei producten.

a Hoe heet ethanol in het dagelijks leven (en op het etiket van veel producten)?

b Waarom is water niet geschikt om als oplosmiddel in parfums te gebruiken en ethanol wel?

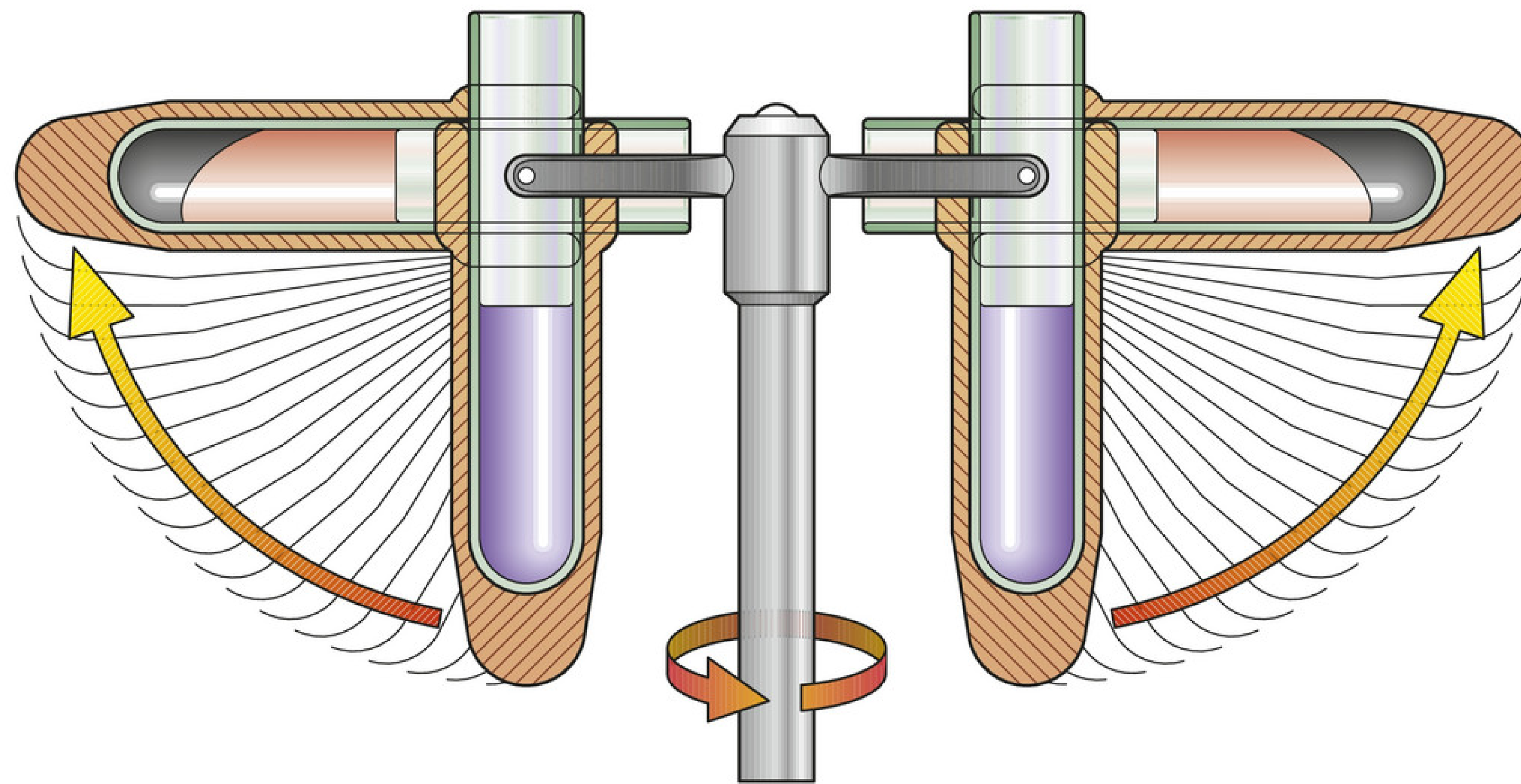
c Klieren in je huid produceren huidvet dat de huid tegen uitdroging beschermt.
Leg uit hoe het komt dat je huid droog aanvoelt als die veel met ethanol in aanraking komt.

***19** Als je krijtpoeder met water mengt, krijg je een witte vloeistof.

a Leg uit hoe je kunt onderzoeken of deze vloeistof een oplossing of een suspensie is.

b Beschrijf een methode waarmee je de krijtdeeltjes uit het water kunt halen.

c Scheikundigen gebruiken voor het scheiden van mengsels soms een centrifuge (figuur 18). Twee reageerbuisjes worden daarin heel snel rondgedraaid.
Leg uit hoe je met deze methode krijt en water kunt scheiden.



▶ **figuur 18**
centrifugeren

***20** In de Warenwet staat dat een vloeistof alleen als azijn verkocht mag worden als er minstens 4 gram azijnzuur per 100 mL vloeistof in zit.
- **a** Hoe groot moet de concentratie azijnzuur in g/L dus op zijn minst zijn?
- **b** Bauke gebruikt 40 mL azijn bij een scheikundeproef. Bereken hoeveel gram azijnzuur hij daarbij gebruikt.

Plus Oplossingen van zuren

21 Zoek op internet informatie over zwavelzuur.
- **a** Noem drie voorbeelden van de toepassing van zwavelzuur.
- **b** Noem een gevaar dat kan optreden bij het werken met zwavelzuur.
- **c** Welk gevarensymbool zal er op een fles zwavelzuur staan?

22 Op de etiketten van frisdranken kun je zien dat er vaak voedingszuren in frisdrank zitten. Elk van die zuren heeft een zogenaamd E-nummer.
- **a** Zoek op wat de functie is van voedingszuren in frisdrank.
- **b** In figuur 19 zie je het etiket van een blikje cola light. Zoek uit welke voedingszuren in cola light zitten.

***23** Een fles schoonmaakazijn van 1,0 L bevat volgens het etiket 8% azijnzuur.
- **a** Leg uit waarom dit een volumepercentage is.
- **b** Bereken hoeveel mL azijnzuur er in die fles zit.
- **c** Je doet 2,0 L water in een emmer en voegt er 500 mL schoonmaakazijn aan toe. Bereken het volumepercentage van de oplossing van azijnzuur in de emmer.



◀ **figuur 19**
etiket van een blikje cola light

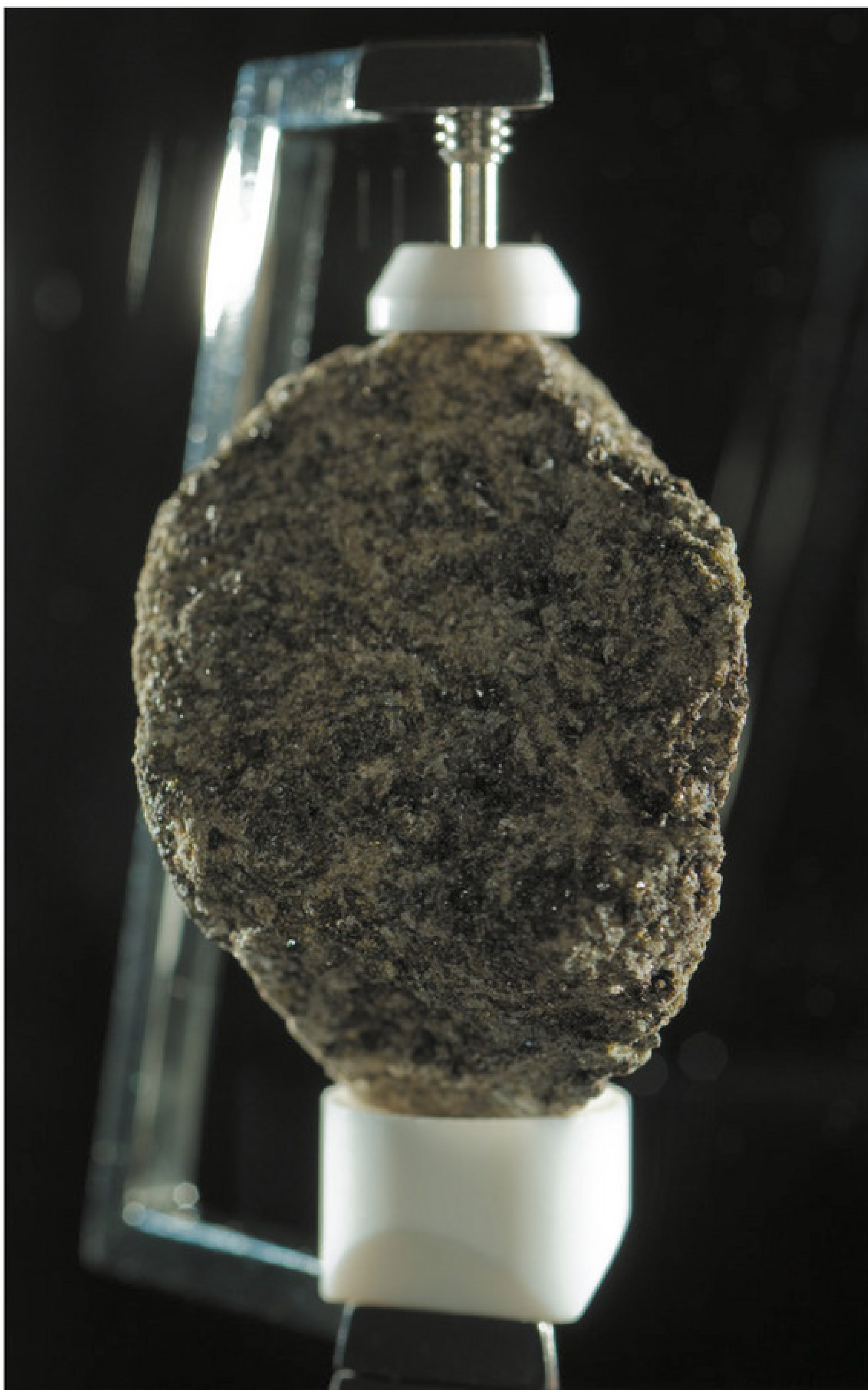
3 Massa en volume

Het gebeurt regelmatig dat je een bepaalde hoeveelheid van een stof moet gebruiken: niet meer, niet minder. Bij het bakken van pannenkoeken moet je er bijvoorbeeld op letten dat je niet te veel, maar ook niet te weinig melk in het beslag doet. Ook bij scheikundeproeven moet je goed op de hoeveelheden letten. Vooral bij medicijnen is het heel belangrijk dat ze precies de juiste hoeveelheid werkzame stof bevatten.

Massa

De **massa** is een maat voor de hoeveelheid stof: twee keer zoveel massa betekent dat je twee keer zoveel stof hebt. Je kunt ook zeggen: een twee keer zo grote massa van een stof bevat twee keer zo veel moleculen van die stof.

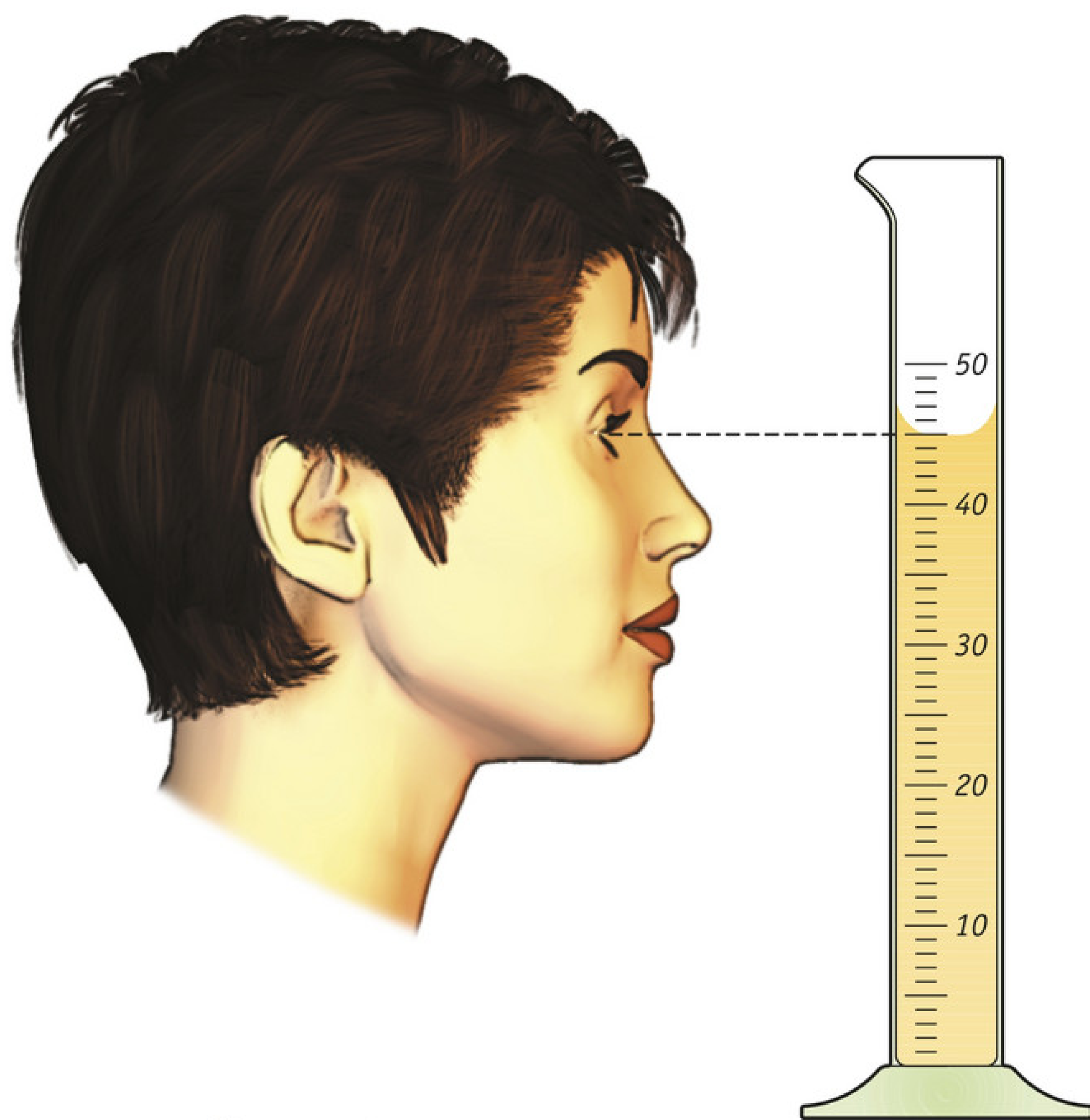
De internationale eenheid van massa is de kilogram (kg). Je zegt dat de **grootheid** massa wordt gemeten in de **eenheid** kilogram. Van de kilogram en de gram zijn verschillende grotere en kleinere eenheden afgeleid, zoals de ton (t) en de milligram (mg).



▲ **figuur 20**
Deze maansteen heeft een massa van 213 gram. Hij werd in 1969 meegenomen door astronauten van de Apollo 11.

Onthoud:
- 1 t = 1000 kg
- 1 kg = 1000 g
- 1 g = 1000 mg

Het woord massa gebruik je niet in het dagelijks leven. Je zegt bijvoorbeeld: "Mijn fiets weegt 12,4 kg" of "Het gewicht van mijn fiets is 12,4 kg". In de natuurkunde mag je dat niet zeggen: daar zijn massa en gewicht twee verschillende dingen. In de natuurkunde zeg je: "De massa van mijn fiets is 12,4 kg". Er is een goede reden voor dat verschil. De massa van je fiets hangt af van het aantal en de soort moleculen waaruit je fiets bestaat. Het **gewicht** van je fiets is iets anders. Dat is de *kracht* die je voelt als je je fiets optilt. Hoe groot het gewicht is, hangt dus niet alleen af van de massa, maar ook van de sterkte van de zwaartekracht. Als een astronaut een maansteen meeneemt naar de aarde, dan blijft de hoeveelheid stof en dus de massa van die steen hetzelfde (figuur 20). Maar het gewicht van de steen is op aarde een stuk groter dan op de maan. Dat komt doordat de zwaartekracht op de aarde groter is dan de zwaartekracht op de maan. De massa van de maansteen is overal in het heelal even groot, maar het gewicht is verschillend.



▲ figuur 21
Zo lees je een maatcilinder af.

Volume

Met een **maatcilinder** kun je het **volume** van een hoeveelheid vloeistof bepalen. Je weet dan hoeveel ruimte de vloeistof inneemt. In figuur 21 zie je hoe je een maatcilinder afleest: met je ogen op dezelfde hoogte als het vloeistofoppervlak. Op die manier vind je het volume van de vloeistof in milliliter (mL).

De internationale eenheid van volume is kubieke meter (m^3), maar de eenheid liter (L) mag je ook gebruiken. Liter wordt alleen voor vloeistoffen en gassen gebruikt, bij vaste stoffen gebruik je kubieke decimeter (dm^3). De milliliter (mL) is afgeleid van de eenheid liter.
Er is afgesproken dat de aanduidingen liter en dm^3 precies hetzelfde betekenen (figuur 22).

Onthoud:
– 1 m^3 = 1000 dm^3 = 1000 L
– 1 dm^3 = 1 L = 1000 cm^3
– 1 cm^3 = 1 mL

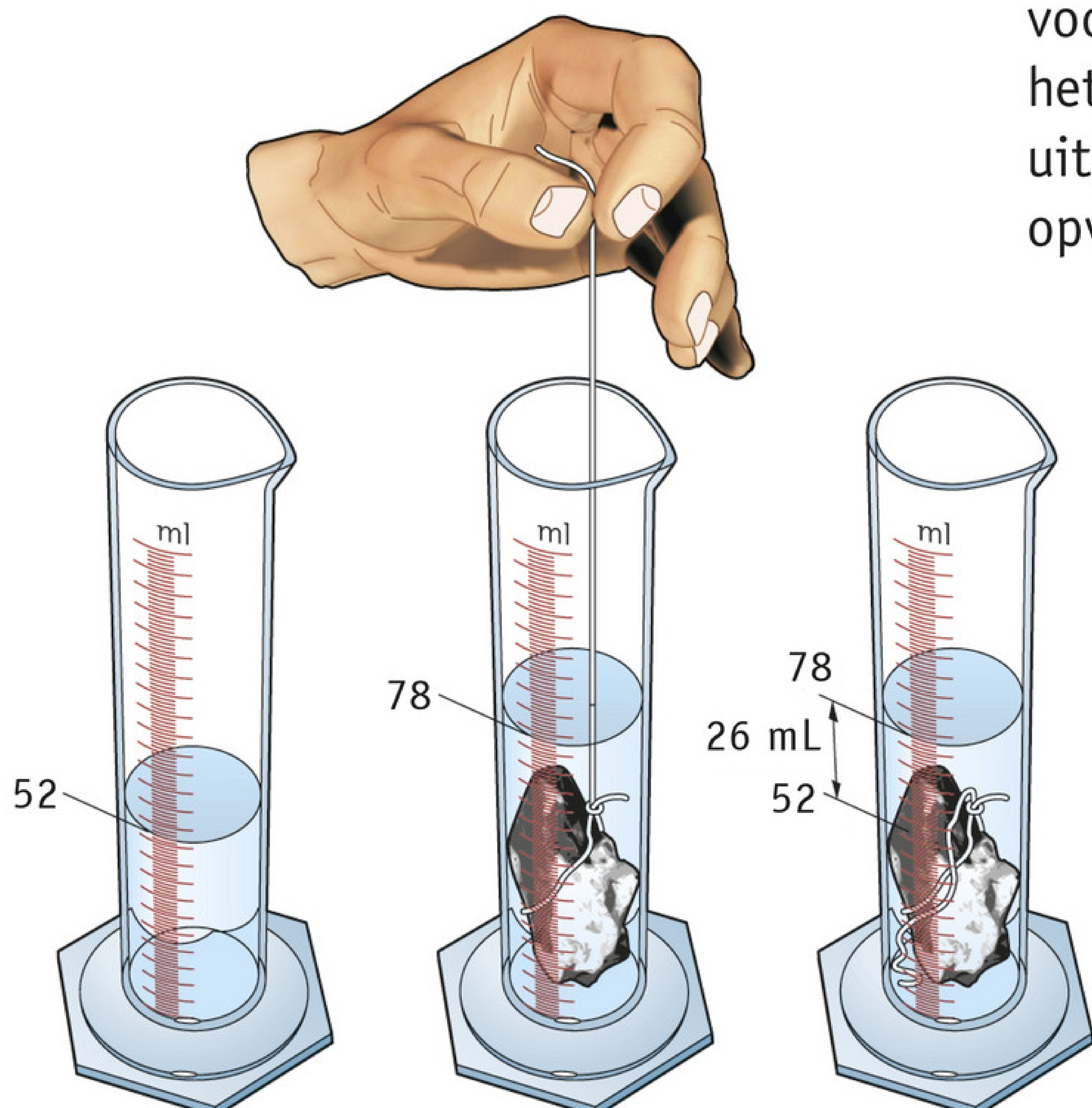


▲ figuur 22
1 dm^3 = 1000 cm^3

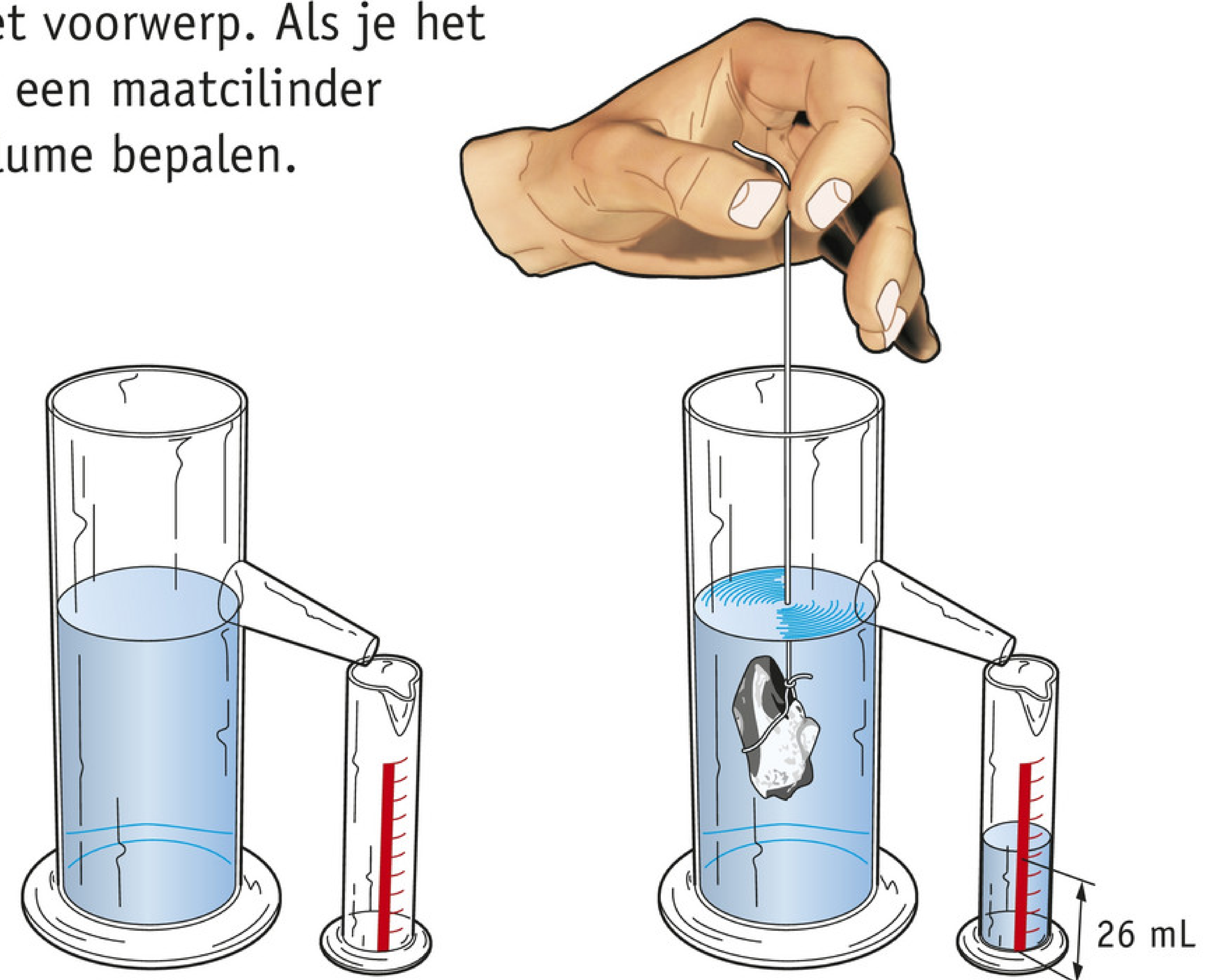
Het volume van een vaste stof bepalen Proef 5

Het volume van voorwerpen met een onregelmatige vorm, bijvoorbeeld een kiezelsteen, kun je bepalen met de **onderdompelmethode** (figuur 23). Die werkt zo:
1 Vul een maatcilinder tot een bepaalde hoogte met water.
2 Lees de stand van het water af: de **beginstand**.
3 Laat het voorwerp voorzichtig helemaal onder water zakken.
4 Lees opnieuw de stand van het water af: de **eindstand**.
5 Eindstand – beginstand is het volume van het voorwerp.

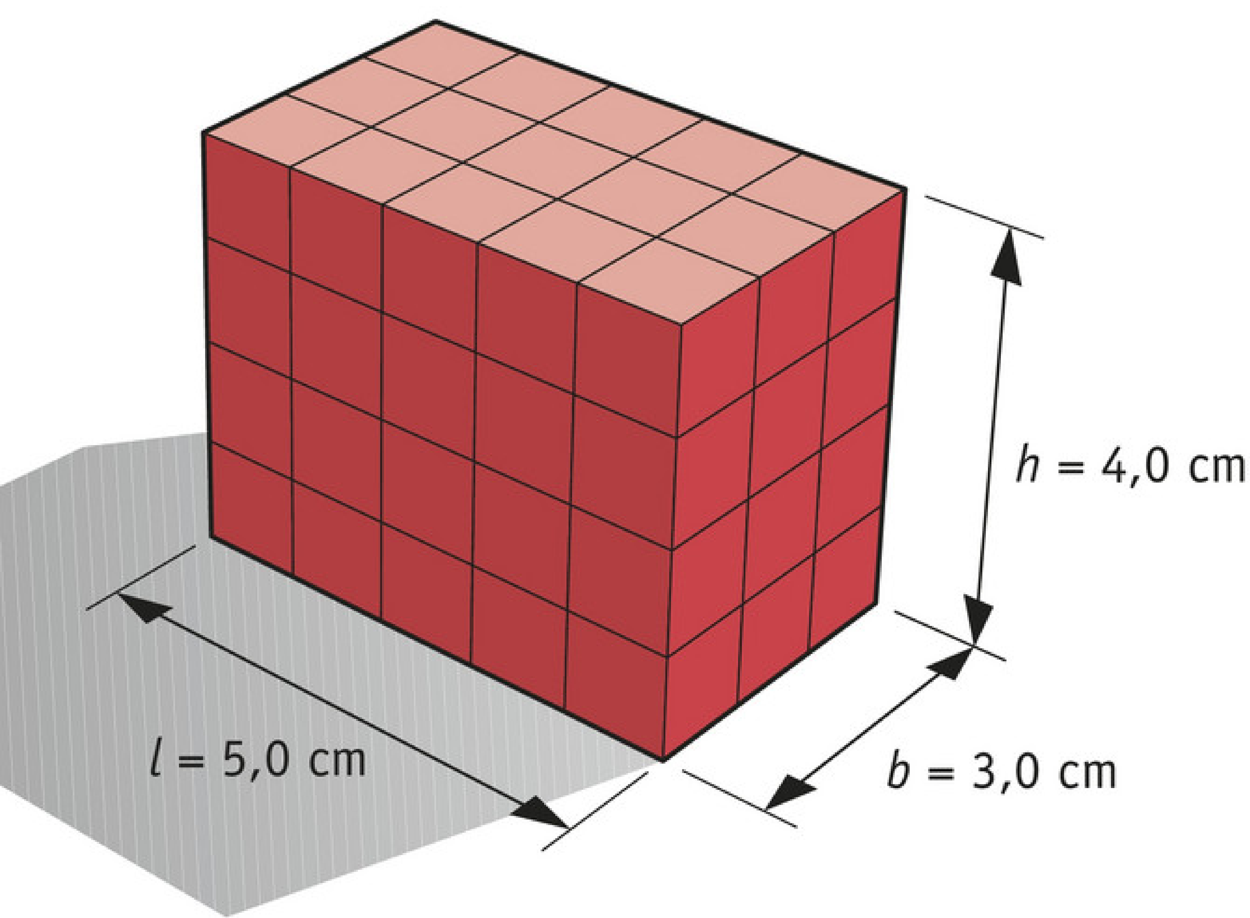
Met een overloopvat gaat het nog gemakkelijker (figuur 24). Je moet het overloopvat tot het overlooptuitje vullen met water. Dan laat je het voorwerp in het vat zakken. Het water dat dan uit het tuitje stroomt heeft hetzelfde volume als het voorwerp. Als je het uitgestroomde water in een maatcilinder opvangt, kun je het volume bepalen.



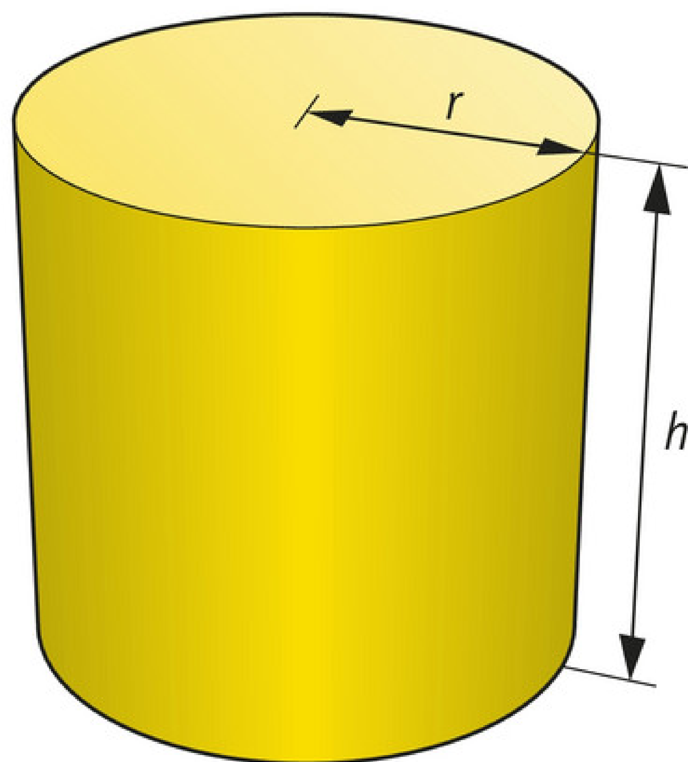
▲ figuur 23
Zo werkt de onderdompelmethode.



▲ figuur 24
Zo werkt de onderdompelmethode met een overloopvat.



▲ figuur 25
het volume van een rechthoekig voorwerp: $V = l \cdot b \cdot h$



▲ figuur 26
het volume van een cilinder: $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$

Het volume berekenen Proef 6

Je kunt het volume van een rechthoekig voorwerp berekenen met de volgende formule: volume = lengte × breedte × hoogte (figuur 25). Of in symbolen (afkortingen met letters):

$V = l \cdot b \cdot h$

Je kunt het volume van een cilinder berekenen met de formule: volume = pi × straal × straal × hoogte (figuur 26). Of in symbolen:

$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$

Als je de afmetingen (l, b, h en r) invult in centimeters (cm), vind je het volume in kubieke centimeter (cm^3). Als je de afmetingen invult in decimeters (dm), vind je het volume in kubieke decimeter (dm^3).

Voorbeeldopgave 1
Bereken het volume in dm^3 van een cilinder. De cilinder heeft een hoogte van 1,5 m en een diameter van 8,2 cm. Rond het antwoord af op één cijfer achter de komma.

gegevens $r = 8{,}2 : 2 = 4{,}1$ cm
$h = 1{,}5$ m $= 150$ cm

gevraagd $V = ?$

uitwerking $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$
$= \pi \times (4{,}1)^2 \times 150$
$= 7917{,}5\ cm^3 = 7{,}9\ dm^3$



▲ figuur 27
De Golden Jubilee is de grootste geslepen diamant ter wereld: bijna 546 karaat.

Plus Karaat

De massa van edelstenen en parels wordt niet in gram gegeven, maar in de oude eenheid **karaat**. Het woord 'karaat' komt van het Griekse *keratia*. Dat was de naam van het zaadje van de johannesbroodboom. Deze zaadjes hebben altijd dezelfde massa en daarom drukte men vroeger de massa van een edelsteen (figuur 27) of van een hoeveelheid goud uit in het aantal karaat. Tegenwoordig staat de karaat als eenheid van massa voor 200 milligram. Een parel van 20 karaat weegt dus 20 × 200 = 4000 mg = 4 g.

Bij goud heeft de karaat tegenwoordig een andere betekenis. Daar gaat het niet om de massa, maar om het percentage zuiver goud dat in een legering zit. Een **legering** is een mengsel van een metaal met andere stoffen, vaak ook metalen. Een ring van 24 karaat bestaat voor 100% uit goud. Als een ring voor 60% van zuiver goud is gemaakt, dan wordt de ring aangeduid als 0,6 × 24 = 14,4 karaat.

opgaven

24 Neem over en vul in:

a	250 g = … kg		**f**	1,3 kg = … g	
b	0,625 kg = … g		**g**	0,25 t = … kg	
c	0,5 g = … mg		**h**	0,75 kg = … g	
d	350 mg = … g		**i**	810 g = … kg	
e	0,035 g = … mg		**j**	8 mg = … g	

 **Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**

25 Neem over en vul in:

a	0,05 L = … mL		**f**	0,625 m^3 = … dm^3	
b	250 mL = … L		**g**	440 cm^3 = … dm^3	
c	750 cm^3 = … dm^3		**h**	6,5 dm^3 = … L	
d	0,8 dm^3 = … cm^3		**i**	35 mL = … L	
e	10 mL = … cm^3		**j**	0,5 m^3 = … L	

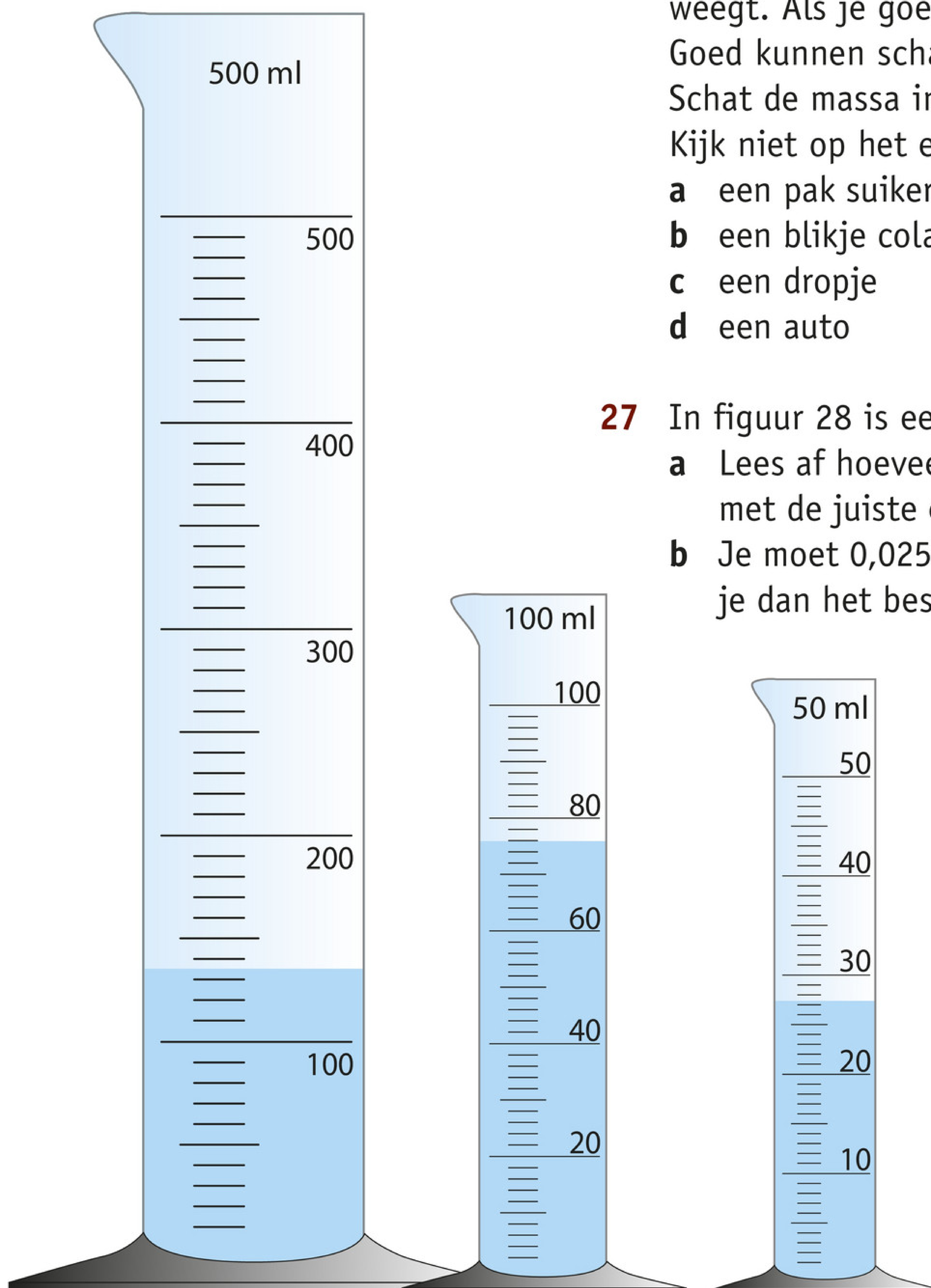
 **Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.**

26 Als je iets moet schatten, dan geef je aan hoeveel je denkt dat het ongeveer zal zijn. Probeer maar eens te schatten hoeveel een stoeptegel weegt. Als je goed kunt schatten, kom je op ongeveer 9 of 10 kg uit. Goed kunnen schatten is belangrijk bij nask.
Schat de massa in g of kg (in ronde getallen) van de volgende producten. Kijk niet op het etiket.

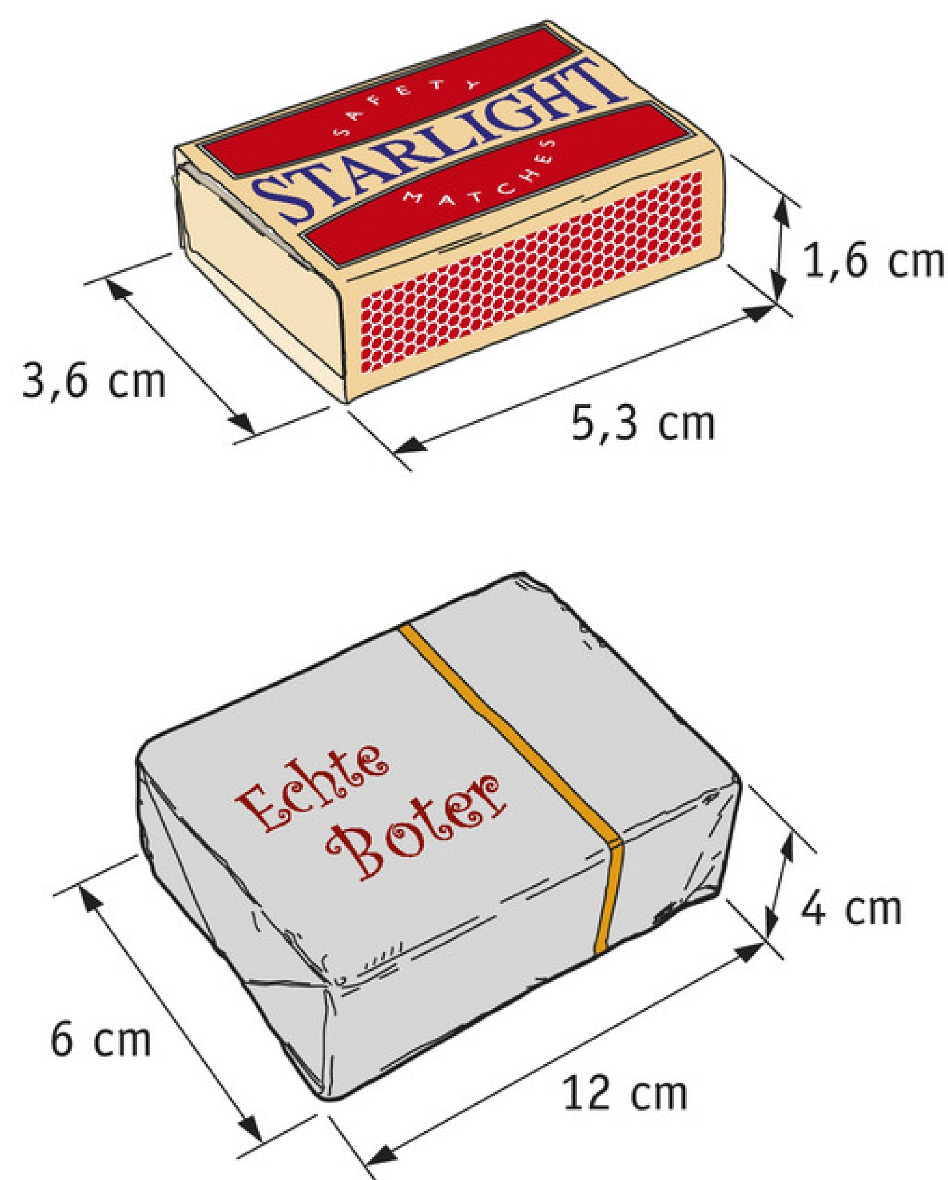
a een pak suiker
b een blikje cola
c een dropje
d een auto

27 In figuur 28 is een aantal maatcilinders getekend.

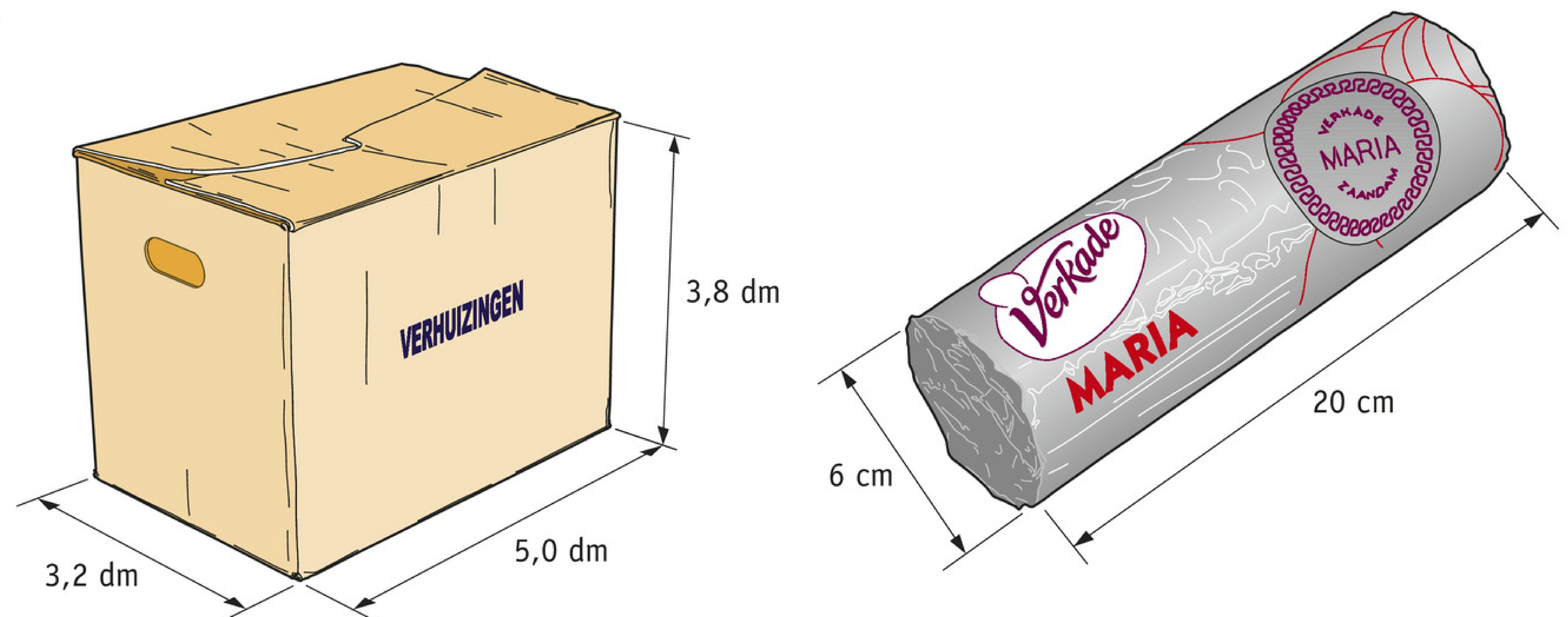
a Lees af hoeveel vloeistof er in elke maatcilinder zit en noteer het getal met de juiste eenheid.
b Je moet 0,025 L water afmeten. Welke maatcilinder uit figuur 28 kun je dan het beste gebruiken?



◀ **figuur 28**
maatcilinders



28 Bereken het volume van de voorwerpen die je in figuur 29 ziet. Schrijf steeds de hele berekening op. Rond de antwoorden af op een geheel getal.



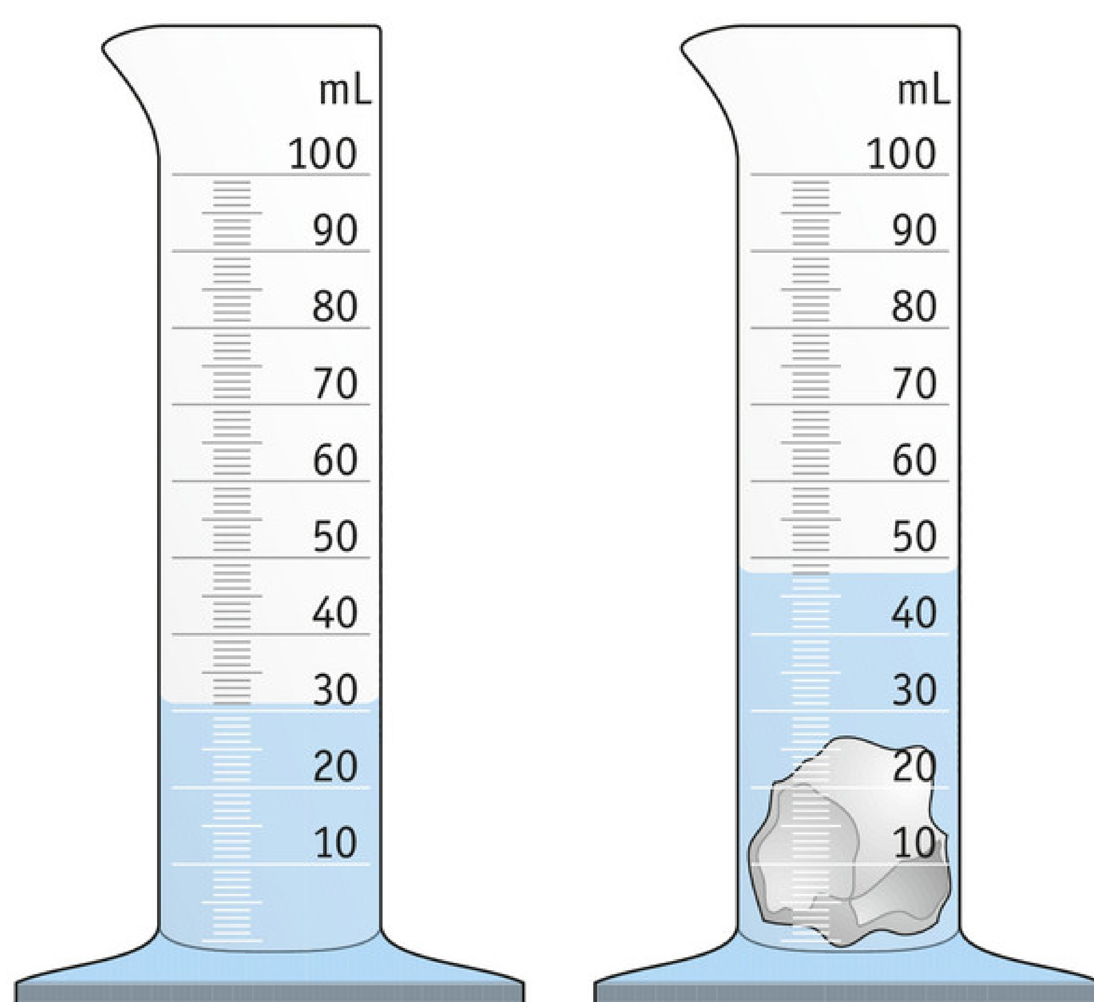
▲ **figuur 29**
Hoe groot is het volume van deze voorwerpen?

29 Bepaal met behulp van figuur 30 het volume van de steen. Schrijf je volledige berekening op.

30 Een krantenkop boven een weerbericht luidde: “80 millimeter regen in twee dagen!”
Bereken hoeveel liter water er in die periode in een tuin van 6 bij 20 m is terechtgekomen. Schrijf de volledige berekening op.

31 Hout drijft op water. Hoe kun je met de onderdompelmethode toch het volume bepalen van een blokje hout? Schrijf twee manieren op.

32 Een pijnstillend geneesmiddel bevat per tablet 200 mg werkzame stof. In de bijsluiter staat dat je per dag maximaal 1,5 g werkzame stof mag innemen.
Bereken hoeveel tabletten je per dag mag slikken.



▲ **figuur 30**
Hoe groot is het volume van de steen?

***33** Met een weegschaal kun je bepalen hoeveel je weegt.
- **a** Leg uit dat je zo je gewicht meet en niet je massa.
- **b** Een astronaut op de maan wil de massa van een maansteen meten. Leg uit waarom hij een aangepaste weegschaal moet gebruiken.

***34** Op een doos met chocolaatjes staat: “260 g-9.17 oz”. Oz is de afkorting van de Amerikaanse eenheid *ounce*.
- **a** Is de oz een eenheid van massa, gewicht of volume?
- **b** Hoeveel gram is 1 oz? Geef je berekening.
- **c** De *ounce* is 1/16 deel van de Amerikaanse *pound*. Bereken hoeveel gram overeenkomt met een *pound*.
- **d** Bereken hoeveel procent de Amerikaanse *pound* afwijkt van het pond dat wij gebruiken. Geef je berekening.

Plus Karaat

35 ‘Karaat’ kan twee betekenissen hebben.

a Noem beide betekenissen.

b In een advertentie biedt een handelaar “100 karaats gouden armbanden” aan. Wat zal hij waarschijnlijk bedoelen?

c Bereken de massa in gram van een diamant van 2,5 karaat.

***36** De *Cullinan* is de grootste ongeslepen diamant die ooit gevonden is. Toen hij in 1905 werd gevonden in een mijn in Zuid-Afrika, bleek hij 612,2 g te wegen.

a Hoeveel karaat was de *Cullinan* toen?

b Lees de tekst van figuur 31 en bereken de massa van de *Great Star of Africa*.

c Uiteindelijk is er bij het maken van de diamanten 5% verloren gegaan aan slijpsel. Bereken hoeveel karaat aan diamanten er in totaal is gemaakt uit de *Cullinan*.

De *Cullinan* werd in Amsterdam met succes gekloofd en geslepen door Joseph Asscher van de firma Asscher, de meest vooraanstaande diamant-slijper van die tijd. In het oppervlak van de steen werd een klein ‘venster’ geslepen, zodat Asscher de breuklijnen en inclusies (onvolkomenheden) kon zien. Asscher liep dagenlang met de steen in zijn zak rond en bekeek en hanteerde de steen telkens weer. Op 10 februari 1908 waagde hij het erop. Hij had een kleine snede in de steen gemaakt en zou deze kloven met het risico dat de steen ook kon versplinteren. De slag waarmee hij de steen kloofde vergde zoveel van hem dat hij na afloop flauwviel. De bewerking was desondanks feilloos.
Van de *Cullinan* zijn 9 grote en 96 kleine diamanten geslepen. De grootste heet *Great Star of Africa*; deze is 530,2 karaat en verwerkt in de scepter van het Britse koningshuis.
bron: Wikipedia

▶ **figuur 31**
de Cullinan

4 Dichtheid

Mensen zeggen vaak dat de ene stof zwaarder of lichter is dan een andere. Als iemand ze bijvoorbeeld vraagt: "Waarom worden velgen van autowielen vaak van aluminium gemaakt?", dan zeggen ze zoiets als: "Omdat aluminium veel lichter is dan staal".



▲ **figuur 32**
drie blokjes van 1,0 cm³: perspex (1,2 gram), aluminium (2,7 gram) en messing (8,5 gram)

Lichte en zware stoffen

Is aluminium echt "lichter dan staal"? Is een aluminiumvelg van een auto lichter dan een stalen koffielepeltje? Dat is natuurlijk niet zo. Hoe zwaar een voorwerp is hangt niet alleen af van het soort materiaal, maar ook van het volume.
Om na te gaan of de ene stof lichter is dan de andere, moet je deze twee stoffen 'eerlijk' met elkaar vergelijken.

Een eerlijke vergelijkingsmethode werkt als volgt:
1 Neem van elke stof een blokje van 1,0 cm³.
2 Bepaal de massa van elk blokje.
3 Het blokje met de kleinste massa is gemaakt van de 'lichtste' stof.

Een aluminium blokje van 1,0 cm³ heeft een massa van 2,7 gram (figuur 32). Een stalen blokje van 1,0 cm³ heeft een massa van 7,9 gram. Staal is dus ongeveer drie keer zo 'zwaar' als aluminium.

De dichtheid van een stof

Een blokje aluminium van 1,0 cm³ heeft een massa van 2,7 g. Dat is een eigenschap van de stof aluminium. Deze eigenschap is zo belangrijk dat er een apart woord voor bedacht is: de **dichtheid**. Je zegt: de dichtheid van aluminium is 2,7 gram per kubieke centimeter (2,7 g/cm³).

Dichtheid is een stofeigenschap: elke stof heeft zijn eigen dichtheid. Omgekeerd geldt: als je de dichtheid van een stof kent, helpt dat om erachter te komen om welke stof het gaat (en om welke stof zeker niet). De dichtheid is één van de eigenschappen waaraan je een stof kunt herkennen. Je kunt dus niet zeggen "aluminium is licht" maar wel "aluminium heeft een lage dichtheid" (daarom stonden 'licht' en 'zwaar' hierboven tussen aanhalingstekens).

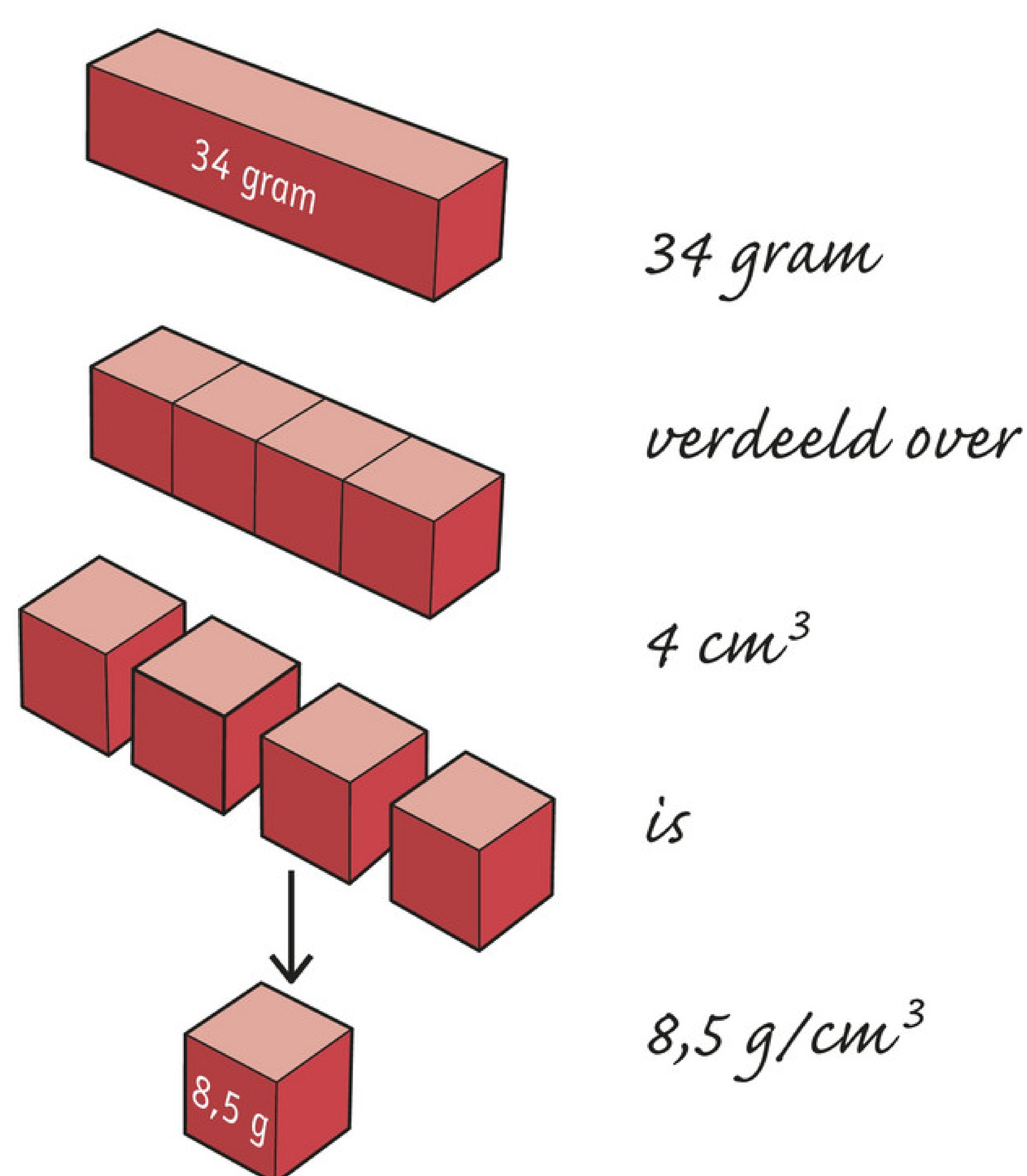
In tabel 1 kun je de dichtheid van een aantal stoffen opzoeken. Je ziet onder andere dat de dichtheid van metalen nogal kan verschillen. Goud bijvoorbeeld is meer dan zeven keer zo 'zwaar' als aluminium.

▼ **tabel 1** de dichtheid van enkele stoffen (bij 20 °C)

stof	dichtheid (g/cm^3)	stof	dichtheid (g/cm^3)
alcohol (ethanol)	0,80	lood	11,3
aluminium	2,7	perspex	1,2
benzine	0,72	staal	7,8
ether	0,71	suiker	1,6
glas	2,6	terpentine	0,84
goud	19,3	tin	7,3
ijs (bij –4 °C)	0,92	vurenhout	0,58
ijzer	7,9	water	1,0
keukenzout	2,2	zilver	10,5
koper	8,96	zink	7,2

De dichtheid bepalen Proef 7 en 8

Om de dichtheid te bepalen, heb je niet per se een voorwerp van 1,0 cm^3 nodig. Met een groter voorwerp lukt het ook. Je kunt zo'n voorwerp in gedachten in stukjes van 1,0 cm^3 verdelen. Als je de massa van zo'n stukje weet, weet je de dichtheid.



▲ **figuur 33**
Zo kun je de dichtheid berekenen.

In figuur 33 is een staafje messing van 34 gram getekend. Je kunt dit staafje in gedachten verdelen in vier blokjes van 1,0 cm^3. Als je 34 gram verdeelt over vier blokjes, krijgt elk blokje 34 : 4 = 8,5 g. De dichtheid van messing is dus 8,5 g/cm^3.

Als je de massa (in g) door het volume (in cm^3) deelt, vind je de dichtheid in g/cm^3. Je kunt dat ook in formulevorm opschrijven:

$$\text{dichtheid} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Of in symbolen:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Het symbool voor dichtheid is de Griekse letter ρ (*rho*, spreek uit: 'roo'). De eenheid van dichtheid is gram per cm^3, afgekort g/cm^3.

Voorbeeldopgave 2
Miranda heeft een goudkleurige armband met een massa van 78 gram en een volume van 5,0 cm^3.
Ga met een berekening na of deze armband van zuiver goud gemaakt zou kunnen zijn.

gegevens $m = 78$ g
$V = 5{,}0\ cm^3$

gevraagd $\rho = ?$

uitwerking $\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{78}{5{,}0} = 15{,}6\ g/cm^3$

De armband kan dus niet van zuiver goud gemaakt zijn, want goud heeft een dichtheid van 19,3 g/cm^3 (zie tabel 1). De armband kan wel voor een groot deel uit goud bestaan.

Drijven en zinken

Bij het boren naar aardolie komt niet alleen olie, maar ook water naar boven. Oliemaatschappijen verwijderen op een vrij simpele manier dat water uit de olie. Als je olie en water bij elkaar doet en flink schudt, ontstaat er wel even een mengsel. Maar de twee vloeistoffen ontmengen ook weer snel. Het mengsel splitst zich in een laag olie en een laag water: de olielaag ligt dan bovenop de waterlaag. De vloeistof met de kleinste dichtheid komt altijd bovenaan terecht. Door water onderaan weg te zuigen, kun je olie en water scheiden.

Je kunt op dezelfde manier voorspellen of een massief voorwerp (een voorwerp zonder holle ruimtes) drijft of zinkt. Een voorwerp van vurenhout drijft in water, een voorwerp van perspex zal in water juist zinken. De dichtheid van vurenhout is namelijk kleiner dan die van water en de dichtheid van perspex is groter dan die van water (zie tabel 1). Wil je weten of een voorwerp drijft of zinkt in een vloeistof, dan moet je dichtheden vergelijken.

Plus De hydrometer

De dichtheid van een drijvend voorwerp is kleiner dan die van de vloeistof. Het verschil in dichtheid tussen voorwerp en vloeistof kan groot zijn of klein. Hoe groter het verschil in dichtheid, des te verder steekt het voorwerp boven de vloeistof uit. Bij water en ijs is het dichtheidsverschil klein en daarom steekt maar een klein stukje van een ijsberg boven water uit (figuur 34a). Bij piepschuim is het verschil heel groot en daar steekt het grootste deel boven het water uit (figuur 34b).





▲ figuur 34
a Het grootste deel van een ijsberg zit onder water.
b Het grootste deel van een stuk piepschuim zit boven water.

Dat verschijnsel kun je gebruiken om heel snel de dichtheid van een vloeistof te bepalen. Het meetinstrument waarmee je de dichtheid bepaalt heet **hydrometer**. Een hydrometer lijkt op de dobber die vissers gebruiken (figuur 35). Je zet hem rechtop in de vloeistof waarvan je de dichtheid wilt weten. De hydrometer blijft drijven en het verschil in dichtheid bepaalt hoe hoog de hydrometer boven de vloeistof uitsteekt. Als dat verschil groot is, steekt de hydrometer verder boven het vloeistofoppervlak uit. Je kunt dan bij het vloeistofoppervlak op een schaalverdeling de dichtheid van de vloeistof aflezen.



▶ figuur 35
een hydrometer

opgaven

37 Elke grootheid heeft een symbool. Bij massa is dat de letter *m*. Ook eenheden hebben elk een eigen symbool.
Neem tabel 2 over en vul de ontbrekende woorden en symbolen in.

▼ **tabel 2** grootheden en eenheden

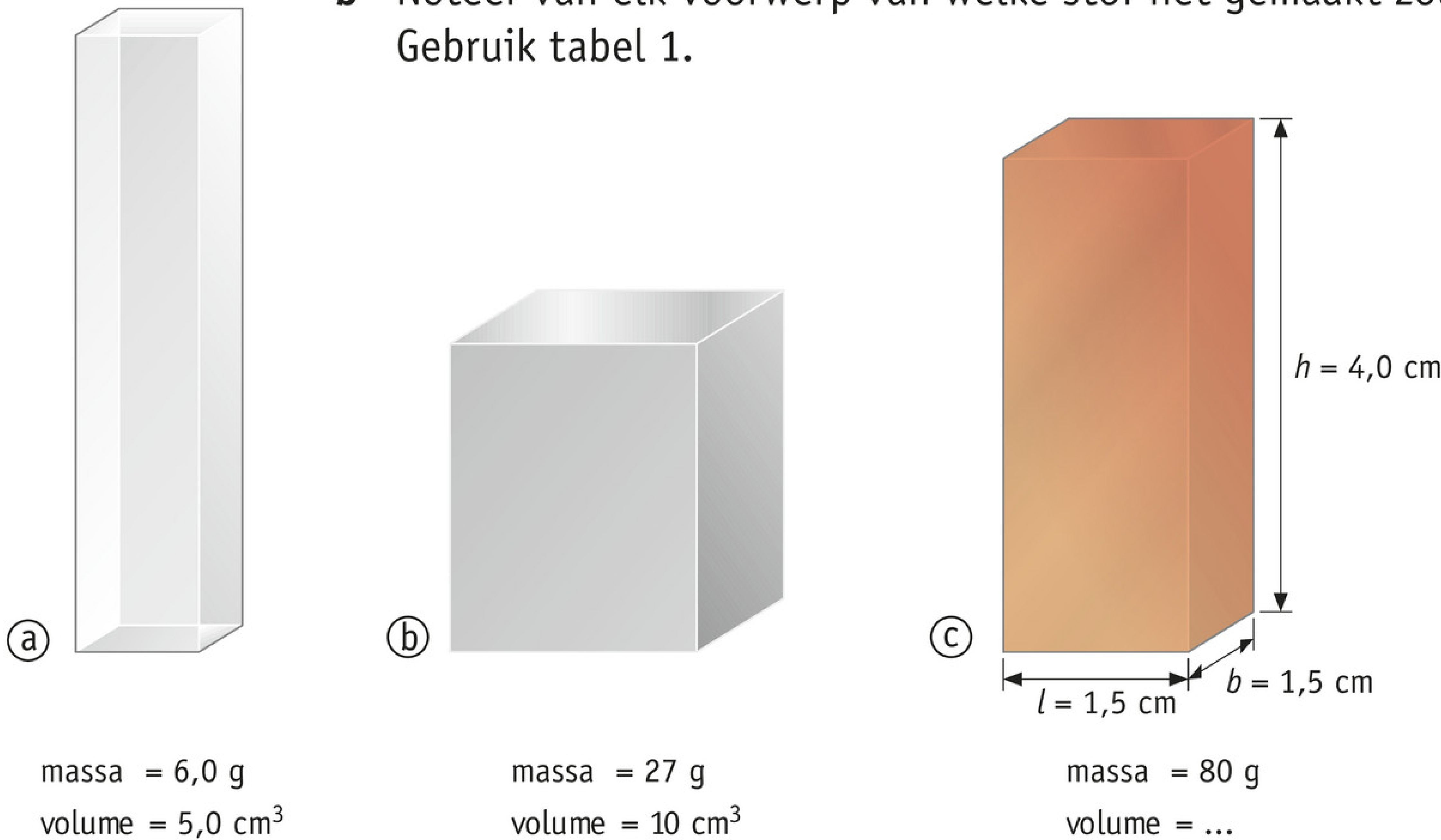
grootheid	symbool van de grootheid	eenheid	symbool van de eenheid
lengte			
			kg
		liter	
		gram per kubieke centimeter	

38 Je gaat de dichtheid bepalen van een rechthoekig blokje messing.
- **a** Welke grootheden moet je hiervoor meten?
- **b** Welke meetinstrumenten heb je daarvoor nodig?
- **c** Met welke formule bereken je daarna de dichtheid?
- **d** Welke eenheid zet je ten slotte achter de uitkomst?

39 Geef met behulp van tabel 1 een voorbeeld van een metaal:
- **a** met een opvallend grote dichtheid;
- **b** met een opvallend kleine dichtheid;
- **c** met een ruwweg gemiddelde dichtheid.

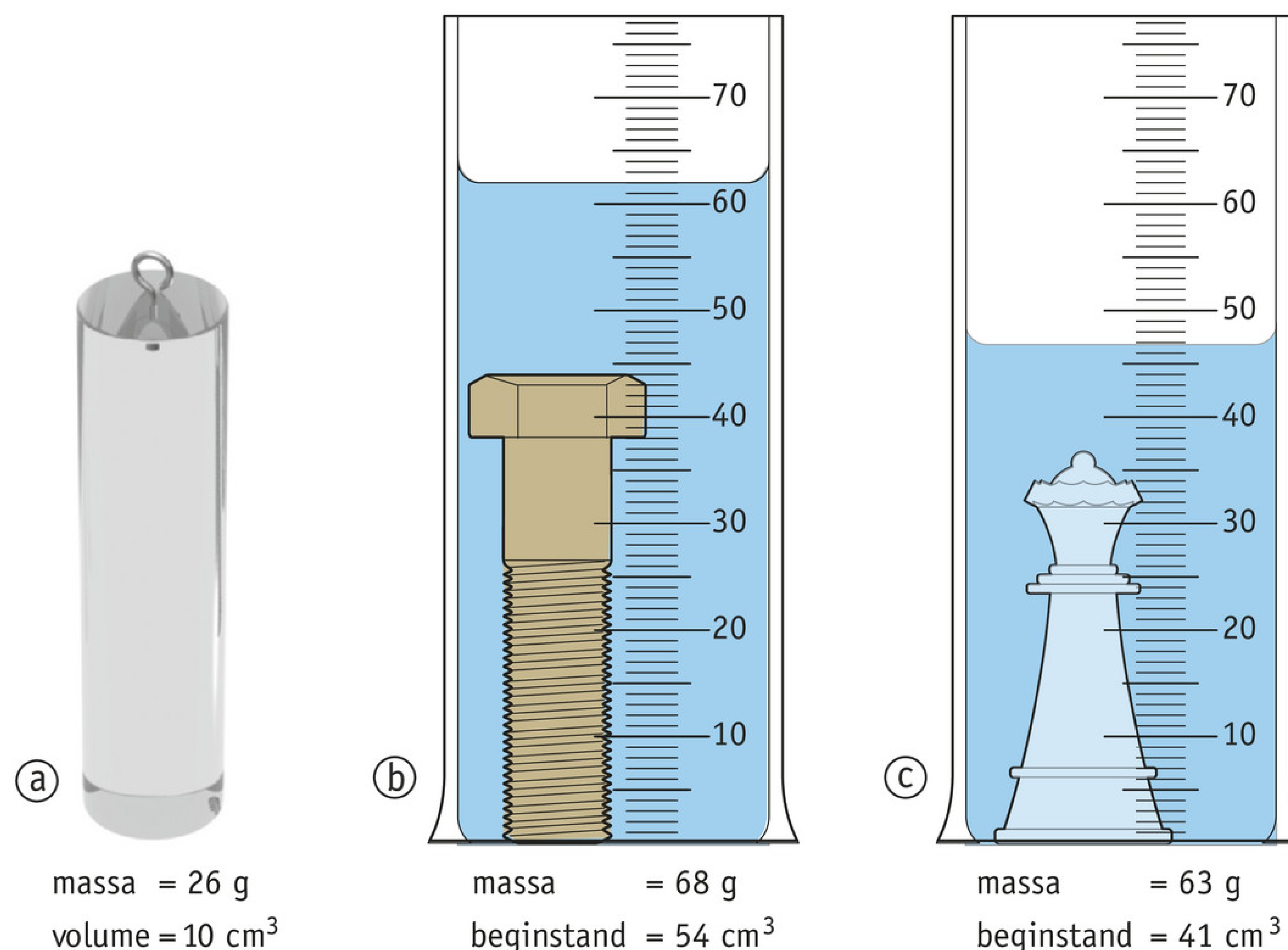
40 Goud is 'zwaarder' dan aluminium.
- **a** Waarom staan er aanhalingstekens om het woord 'zwaarder'?
- **b** Bereken hoeveel keer zo zwaar goud is als aluminium. Schrijf je berekening op.

41 In figuur 36 zijn drie blokjes getekend die van een zuivere stof zijn gemaakt.
- **a** Bereken de dichtheid van de stoffen waarvan deze voorwerpen gemaakt zijn. Schrijf alle berekeningen op.
- **b** Noteer van elk voorwerp van welke stof het gemaakt zou kunnen zijn. Gebruik tabel 1.



▶ **figuur 36** drie rechthoekige voorwerpen

42 In figuur 37 zijn nog eens drie voorwerpen getekend.
Bereken de dichtheid van de stoffen waarvan deze voorwerpen gemaakt zijn. Schrijf de hele berekening op.



▶ **figuur 37** een cilinder en twee voorwerpen met een onregelmatige vorm

43 Mitchell heeft van vier voorwerpen de massa en het volume gemeten. Zijn meetresultaten staan in tabel 3.

a Welke drie voorwerpen zouden van dezelfde stof gemaakt kunnen zijn?
b Bereken hoe groot de dichtheid van deze stof is.
c Om welke stof zou het kunnen gaan?

▼ **tabel 3** de meetresultaten van Mitchell

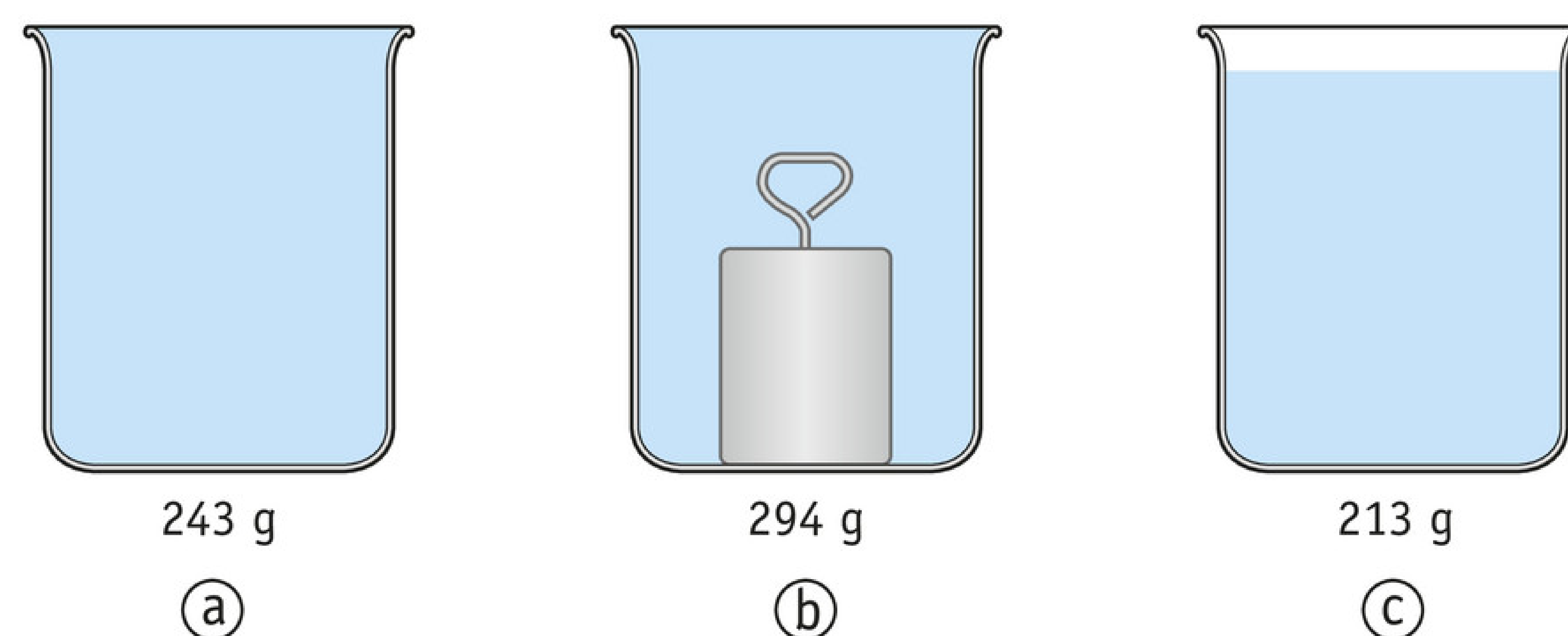
voorwerp	volume (cm^3)	massa (g)
A	10,1	80,0
B	6,9	60,0
C	5,1	40,0
D	2,5	20,0

44 Op een schap in een supermarkt staan grote en kleine flessen met koffiemelk.

- Op de grote flessen staat: 1000 g | 930 mL
- Op de kleine flessen staat: 500 g | 465 mL

a Leg uit hoe je aan deze getallen kunt zien dat de twee soorten flessen met dezelfde vloeistof gevuld zijn.
b Beredeneer welk volume de fabrikant op een fles met 200 g koffiemelk zou moeten zetten.

***45** Een bekerglas, geheel gevuld met water, heeft een massa van 243 g (figuur 38a). Theo laat er een metalen blokje aan een dun draadje in zakken (figuur 38b) en meet opnieuw de massa van het bekerglas: 294 g. Ten slotte haalt hij het blokje eruit en laat hij het lang uitdruipen boven het bekerglas. Hij meet opnieuw de massa van het bekerglas en het resterende water: 213 g (figuur 38c).
Bereken met behulp van deze gegevens de dichtheid van het metaal.



▶ **figuur 38**
Hoe groot is de dichtheid van het metaal?

***46** Als je een ijzeren staaf verwarmt, zet hij uit: zijn lengte en zijn diameter worden groter. Dat gebeurt met bijna alle stoffen als je ze verwarmt.

a Als je een stof verwarmt, wordt de dichtheid van de stof dan groter, kleiner of blijft deze hetzelfde? Licht je antwoord toe en gebruik daarbij de formule voor dichtheid.

b In tabel 1 staat ook een temperatuur vermeld. Leg uit waarom het nodig is om de temperatuur in een tabel van de dichtheid te vermelden.

c Tijdens een vorstperiode kun je schaatsen. Leg uit hoe dit mogelijk is, door de dichtheid van ijs te vergelijken met die van water.

47 Een gouden kroon is eigenlijk te zwaar om te dragen. De zwaarste kroon ter wereld is de zuiver gouden kroon van Thailand. Die heeft een massa van 7,0 kg waarvan 5,8 kg uit goud bestaat.

a Bereken het volume van het goud in de Thaise kroon. Gebruik daarbij de formule: volume = massa/dichtheid.

b De kroon van Nederland lijkt van goud, maar is gemaakt van verguld zilver. Het zilver heeft een volume van 240 cm^3. Bereken de massa van het zilver van de kroon met de formule: massa = dichtheid × volume.



▶ **figuur 39**
de kroon van Nederland

***48** Ook gassen hebben een dichtheid. Bij 'normale' omstandigheden is de dichtheid van bijvoorbeeld lucht 1,29 g/dm^3, die van helium 0,179 g/dm^3 en die van stikstof 1,25 g/dm^3.

- **a** Vergelijk de dichtheid van deze gassen met de dichtheid van de stoffen in tabel 1. Wat valt je op?
- **b** Leg uit waarom een ballon met helium opstijgt.
- **c** Leg uit wat het opstijgen van die ballon te maken heeft met drijven.
- **d** Zal een ballon met stikstof ook opstijgen? Licht je antwoord toe.
- **e** Reken de massa van 1,0 kubieke meter lucht uit.
- **f** Maak een schatting van de afmetingen van het lokaal waarin je zit (in hele meters). Gebruik je schatting om de massa van de lucht in het lokaal uit te rekenen.

Plus De hydrometer

49 In de industrie of in het laboratorium wordt soms een hydrometer gebruikt.

- **a** Welke grootheid kun je met een hydrometer meten?
- **b** Voor welke soorten stoffen kun je een hydrometer gebruiken?
- **c** Op het bovenste deel van een hydrometer staat een schaalverdeling. Staan de hoogste getallen bovenaan of onderaan? Licht je antwoord toe.

***50** Als je in de Dode Zee (tussen Israël en Jordanië) gaat liggen, zak je minder diep in het water dan in bijvoorbeeld de Noordzee (figuur 40).

- **a** Leg uit hoe dit komt. Gebruik het woord 'dichtheid' in je antwoord.
- **b** Leg uit wat dit verschijnsel met de werking van de hydrometer te maken heeft.



▶ **figuur 40**
drijven in de Dode Zee

Practicum

Proef 1 Stoffen van elkaar onderscheiden 30 min

Inleiding

Als de politie een inval doet in een drugslaboratorium, worden daar vaak verschillende stoffen gevonden. Om uit te zoeken wat voor stoffen dat zijn, heeft de politie een speciale afdeling met onderzoekers.
Jij gaat in deze proef ook stoffen onderzoeken, maar dan ongevaarlijke stoffen. Je krijgt zestien potjes met stoffen, zonder te weten welke stoffen het zijn. Je moet met behulp van de stofeigenschappen zo veel mogelijk stoffen proberen te herkennen.

Doel

Bij deze proef leer je stoffen te herkennen aan hun stofeigenschappen.

Nodig

- zestien stoffen in flesjes

Uitvoeren en uitwerken

– Je krijgt zestien flesjes. Je mag de flesjes openmaken om te ruiken. Je mag de stoffen beslist niet proeven!

1 Neem tabel 4 over in je schrift (nummer door tot en met 16). Noteer in de tabel bij elk nummer:
  a de kleur van de stof;
  b de geur van de stof;
  c of de stof vast, vloeibaar of gasvormig is;
  d andere bijzonderheden;
  e de naam van de stof (als je die weet).

2 Bekijk de gegevens in de tabel.
  a Welke stoffen zijn vast?
  b Welke stoffen zijn vloeibaar?
  c Welke stoffen zijn gasvormig?
  d Welke stoffen zijn metalen?
  e Welke stoffen zijn doorzichtig?

▼ **tabel 4** zestien stoffen en hun eigenschappen

nummer	kleur	geur	vast/ vloeibaar/ gasvormig	bijzonderheden	naam
1					
2					
3					
enzovoort					

Proef 2 Oplossingen en suspensies onderzoeken 15 min

Inleiding
In het dagelijks leven kom je verschillende soorten mengsels tegen. Thee en cola zijn voorbeelden van oplossingen. Sinaasappelsap en verf zijn voorbeelden van suspensies.

Doel
Bij deze proef leer je twee verschillen kennen tussen een oplossing en een suspensie.

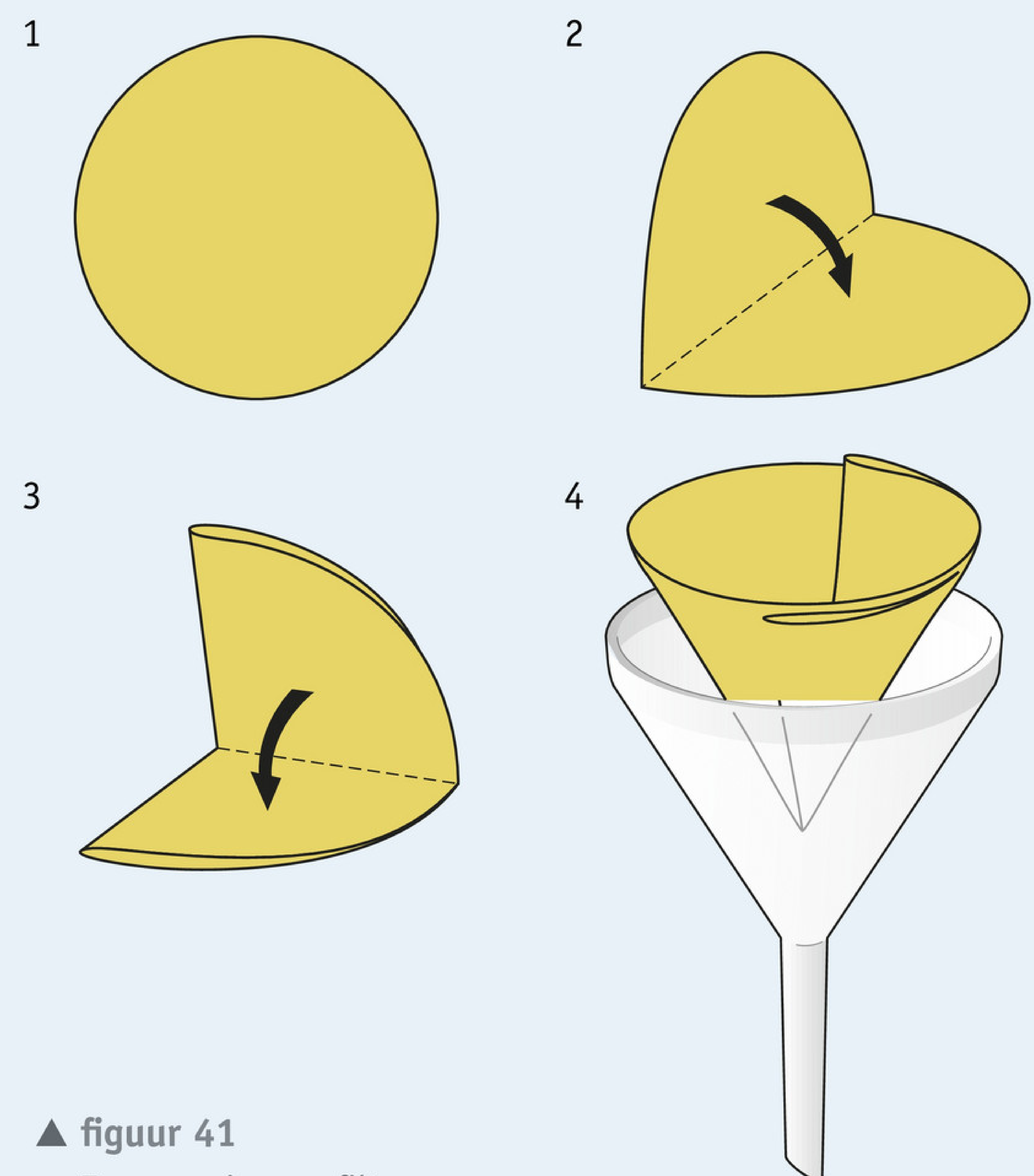
Nodig
- reageerbuis met water + inkt
- reageerbuis met water + koolstof
- twee (lege) reageerbuizen
- twee trechters
- twee filtreerpapiertjes

Uitvoeren en uitwerken
- Schud de reageerbuis met water + inkt. Kijk direct daarna of je door het mengsel heen kunt kijken.
- Schud de reageerbuis met water + koolstof. Kijk direct daarna of je door het mengsel heen kunt kijken.

1 Kun je door de verdunde blauwe inkt heen kijken?
2 Heb je hier te maken met een oplossing of met een suspensie?
3 Kun je door het mengsel van koolstof en water heen kijken?
4 Heb je hier te maken met een oplossing of met een suspensie?

- Vouw de filtreerpapiertjes zoals in figuur 41 en doe ze in de trechters.
- Maak de filters vochtig (dan blijven ze beter in de trechters zitten).
- Zet de trechters in de lege reageerbuizen.
- Schud het mengsel van water + inkt en giet het voorzichtig in het ene filter.
- Schud het mengsel van water + koolstof en giet het voorzichtig in het andere filter.
- Kijk goed wat er gebeurt.
- Wacht tot er niets meer uit de filters lekt.

5 Hoe zien de vloeistoffen in de opvangbuizen eruit?
6 In welk van de filters is een vaste stof achtergebleven?
7 Welke stof(fen) is (zijn) dat?
8 Welke stof(fen) is (zijn) zeker door het filter gegaan bij het mengsel van water + inkt?
9 Welke stof(fen) is (zijn) zeker door het filter gegaan bij het mengsel van water + koolstof?



▲ **figuur 41**
Zo vouw je een filter.

Proef 3 Werken met een brander 30 min

Inleiding
Bij proeven op school gebruik je vaak een gasbrander om iets te verwarmen. Met zo'n brander moet je altijd voorzichtig werken.

Houd je aan de veiligheidsvoorschriften die je docent met je heeft besproken.

Doel
Bij deze proef leer je welke eigenschappen een gasvlam heeft en hoe je met een brander moet werken. Zie vaardigheid 6 achter in het boek.

Nodig
- gasbrander
- gaasje
- houten reageerbuishouder
- lucifers/aansteker
- werkblad 2-1

Uitvoeren en uitwerken
- Controleer of de gasregelknop en de luchtregelknop van de gasbrander zijn dichtgedraaid (figuur 42).
- Draai de gaskraan op je tafel open.
- Houd een brandende lucifer boven de brander en draai de gasregelknop een eindje open.

1 Welke kleur heeft de vlam van de brander?

- Draai de luchtregelknop een klein eindje open.

2 Wat gebeurt er met de kleur van de vlam?

- Draai de luchtregelknop nu een flink eind open.

3 Wat gebeurt er met de kleur van de vlam?
4 Wat hoor je?

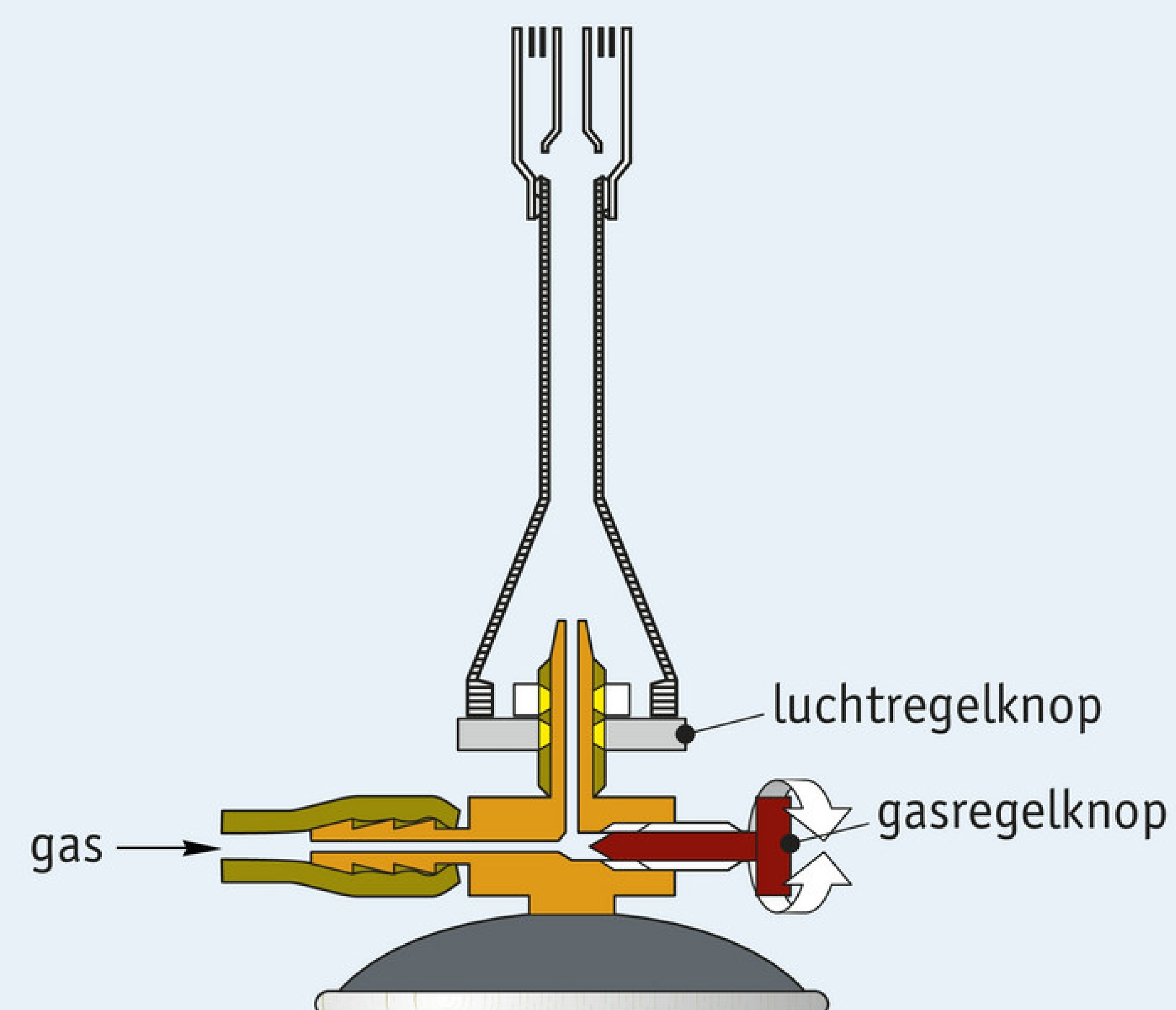
- Houd het gaasje verticaal in de vlam (zie het werkblad, tekening a).

5 Teken en kleur op het werkblad wat je ziet.

- Houd het gaasje horizontaal in de vlam (zie het werkblad, tekening b):
  - **a** eerst dertig seconden in de blauwe kern van de vlam;
  - **b** daarna dertig seconden vlak boven de blauwe kern van de vlam;
  - **c** ten slotte dertig seconden boven in de vlam.

6 Teken en kleur op het werkblad wat je ziet.
7 Op welke plaats is de vlam het heetst? Waaraan zie je dat?

- Draai de luchtregelknop dicht.
- Draai de gasregelknop dicht.
- Draai de gaskraan op je tafel dicht.



▲ **figuur 42**
de gasbrander

Proef 4 Steenzout winnen 30 min

Inleiding
Steenzout wordt gewonnen door heet water in de bodem te pompen. Diep in de bodem ontstaat dan een mengsel van water en steenzout, dat pekel genoemd wordt. De pekel wordt daarna omhoog gepompt, waarna het zout uit de pekel wordt gehaald.

Doel
Bij deze proef ga je pekel verwarmen totdat er steenzout overblijft.

Nodig
- steenzout
- gedestilleerd water
- bekerglas
- roerstaafje
- reageerbuis
- trechter
- filtreerpapier
- porseleinen/stalen kroesje
- brander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker

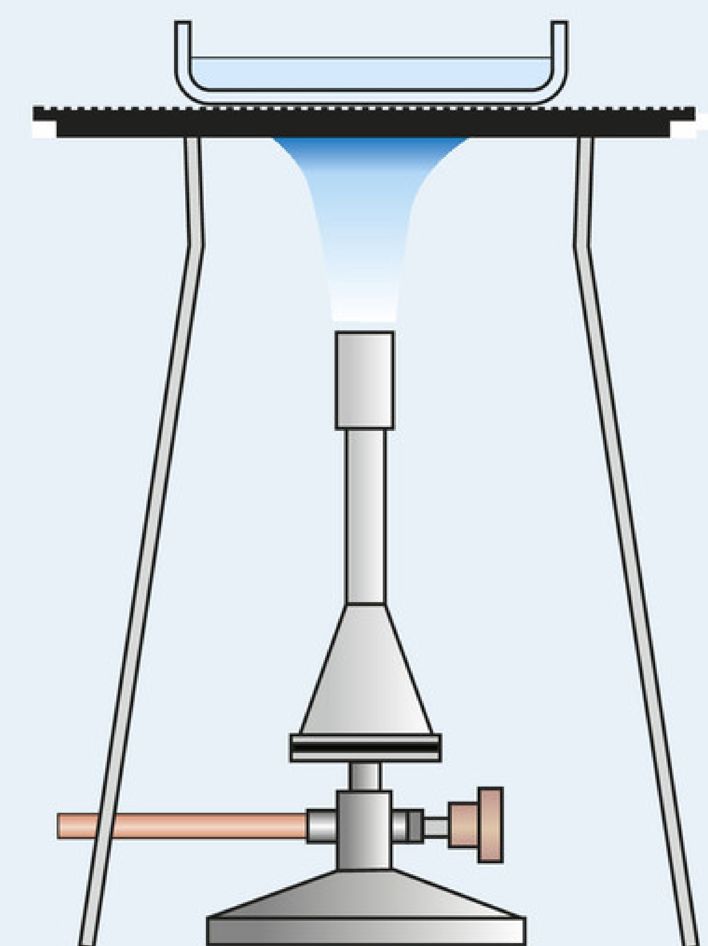
Uitvoeren en uitwerken

Oplossen en filtreren
- Doe een paar schepjes steenzout in het bekerglas.
- Voeg aan het steenzout een beetje warm water toe en roer goed.
- Filtreer de vloeistof en vang het filtraat op in een reageerbuis.

Indampen
- Leg het gaasje op de driepoot.
- Zet het kroesje op het gaasje.
- Giet een beetje van de vloeistof uit de reageerbuis in het kroesje.
- Laat de gasbrander branden met een kleine kleurloze vlam (figuur 43).
- Verwarm de vloeistof in het kroesje tot al het water is verdampt.

N.B. Haal de brander onder het gaasje vandaan als de vloeistof te veel spettert. Maak de vlam dan kleiner door de gasregelknop een stukje dicht te draaien. Schuif de brander daarna weer onder het gaasje.

1 Blijft er na het filtreren een vaste stof achter in het filter?
2 Beschrijf de inhoud van het kroesje na het indampen.
3 Wat kun je zeggen over de oplosbaarheid van deze stof?



▶ **figuur 43**
de opstelling van proef 4

Proef 5 Werken met de onderdompelmethode 15 min

Inleiding
Het volume van onregelmatig gevormde voorwerpen kun je niet eenvoudig berekenen met een formule. Voor zulke voorwerpen gebruik je de onderdompelmethode.

Doel
Bij deze proef leer je hoe je het volume van twee voorwerpen bepaalt met de onderdompelmethode.

Nodig
- maatcilinder
- aluminium blokje
- kiezelsteen

Uitvoeren en uitwerken
– Vul de maatcilinder voor ongeveer twee derde met water. Lees de stand van het water af (in cm³). Zie vaardigheid 5 achter in het boek.

1 Neem over en vul in:
De beginstand is: … cm³.

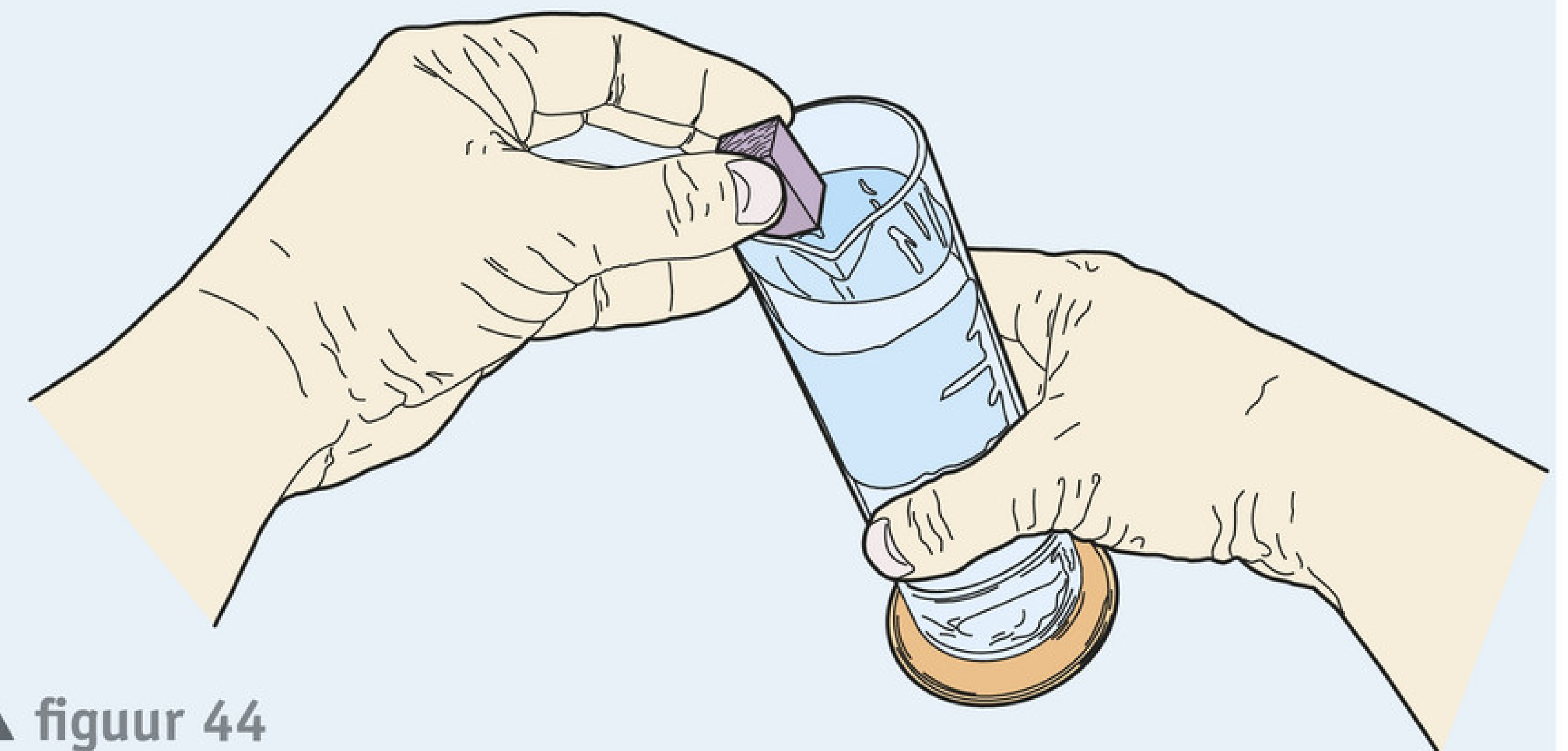
– Laat het aluminium blokje voorzichtig onder water zakken (figuur 44).
– Lees opnieuw de stand van het water af (in cm³).

2 Neem over en vul in:
De eindstand is … cm³.

3 Hoe groot is het volume van het blokje?
Neem over en vul in:
volume blokje = eindstand – beginstand =
… – … = …

– Je gaat nu het volume bepalen van een voorwerp met een onregelmatige vorm. In dit geval is dat een kiezelsteen.

4 Neem over en vul in:
volume kiezelsteen = eindstand – beginstand =
… – … = …



▲ **figuur 44**
Houd de maatcilinder schuin als je het blokje erin laat zakken.

Proef 6 Het bepalen van volume en massa 30 min

Inleiding
Je kunt bij het bepalen van een hoeveelheid stof naar de massa kijken of naar het volume. In de supermarkt vind je bijvoorbeeld pakken met 1 liter melk, maar ook pakken met 1 kilogram suiker. Ook in recepten worden volume- en massa-eenheden vaak door elkaar gebruikt. Dan staat er bijvoorbeeld: “Voeg 250 g champignons en 100 mL water toe.”

Doel
Bij deze proef ga je van vier rechthoekige voorwerpen het volume en de massa bepalen.

Nodig
- vier verschillende blokjes
- liniaal of geodriehoek
- weegschaal

Uitvoeren en uitwerken
1 Neem tabel 5 over in je schrift.
Noteer in kolom 1 van welk materiaal elk blokje gemaakt is.

– Meet hoe lang de zijden van de blokjes zijn (in cm).

2 Zet je meetgegevens in de tabel.
3 Bereken het volume van elk blokje met de formule $V = l \cdot b \cdot h$.
Rond het antwoord af op een geheel getal en noteer dit in kolom 2.

– Bepaal met de weegschaal de massa van elk blokje.

4 Noteer de massa van de blokjes in de laatste kolom van de tabel.

▼ **tabel 5** de meetresultaten van proef 5

voorwerp	lengte	breedte	hoogte	volume	massa
1					
2					
3					
4					

Proef 7 De dichtheid van vaste stoffen bepalen 45 min

Inleiding
Onderzoekers kunnen vaak precies zeggen met welke stof ze te maken hebben als ze de dichtheid kennen. Je kunt de dichtheid berekenen door de massa (in g) te delen door het volume (in cm^3). Zo vind je de dichtheid in g/cm^3.

Doel
Door de dichtheid te bepalen, kun je erachter komen van welke stof een voorwerp gemaakt is. Dat ga je bij deze proef doen.

Nodig
- maatcilinder
- liniaal of geodriehoek
- weegschaal
- vijf voorwerpen

Uitvoeren en uitwerken
– Bepaal de dichtheid van de stoffen waarvan de vijf voorwerpen gemaakt zijn.

1 Neem tabel 6 over in je schrift. Noteer je meetresultaten in de tabel.
2 Bereken de dichtheid van elk voorwerp. Rond de uitkomsten af op één cijfer achter de komma. Noteer de uitkomsten op de juiste plaats in de tabel.

– Vergelijk de dichtheden die je hebt gevonden met de dichtheden in tabel 1.

3 Noteer in de tabel van welke stof elk voorwerp waarschijnlijk gemaakt is.

▼ **tabel 6** de meetresultaten van proef 7

voorwerp	massa	volume	dichtheid	stof
1				
2				
3				
4				
5				

Proef 8 De dichtheid van vloeistoffen bepalen 30 min

Inleiding
Je kunt de dichtheid van een vloeistof bepalen door de massa van de vloeistof te delen door het volume.

Doel
Bij deze proef ga je de dichtheid van twee vloeistoffen bepalen.

Nodig
- weegschaal
- maatcilinder
- gedestilleerd water
- spiritus

Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de massa en het volume van een hoeveelheid vloeistof kunt bepalen.

1 Schrijf op welke metingen en berekeningen je na elkaar gaat uitvoeren.

– Bepaal de dichtheid van water en van spiritus op één cijfer achter de komma.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

Proef 9 Een onderzoek uitvoeren: zout in de polder 45 min

Inleiding
Bij een dijkdoorbraak aan zee is een flink stuk landbouwgrond overstroomd. Daardoor is er zout in de grond gekomen. Dat is nadelig voor de teelt van gewassen, waardoor de grondeigenaar verlies lijdt. De verzekeraar van de grondeigenaar wil een rapport van de schade. In dat rapport moet onder andere staan hoeveel zout er in de grond terecht is gekomen. Daarvoor wordt een onderzoekslaboratorium ingehuurd. Jij bent bij deze opdracht de laborant die het onderzoek moet uitvoeren.

Doel
Bij deze proef ga je bepalen hoe groot de hoeveelheid zout in een grondmonster is. De uitkomst moet in gram zout per kilogram grond worden gerapporteerd.

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Wat ga je meten, welke practicumspullen heb je nodig, hoe reken je straks de antwoorden uit?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek. Zie vaardigheid 1 achter in het boek.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan indien nodig.
– Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

– Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

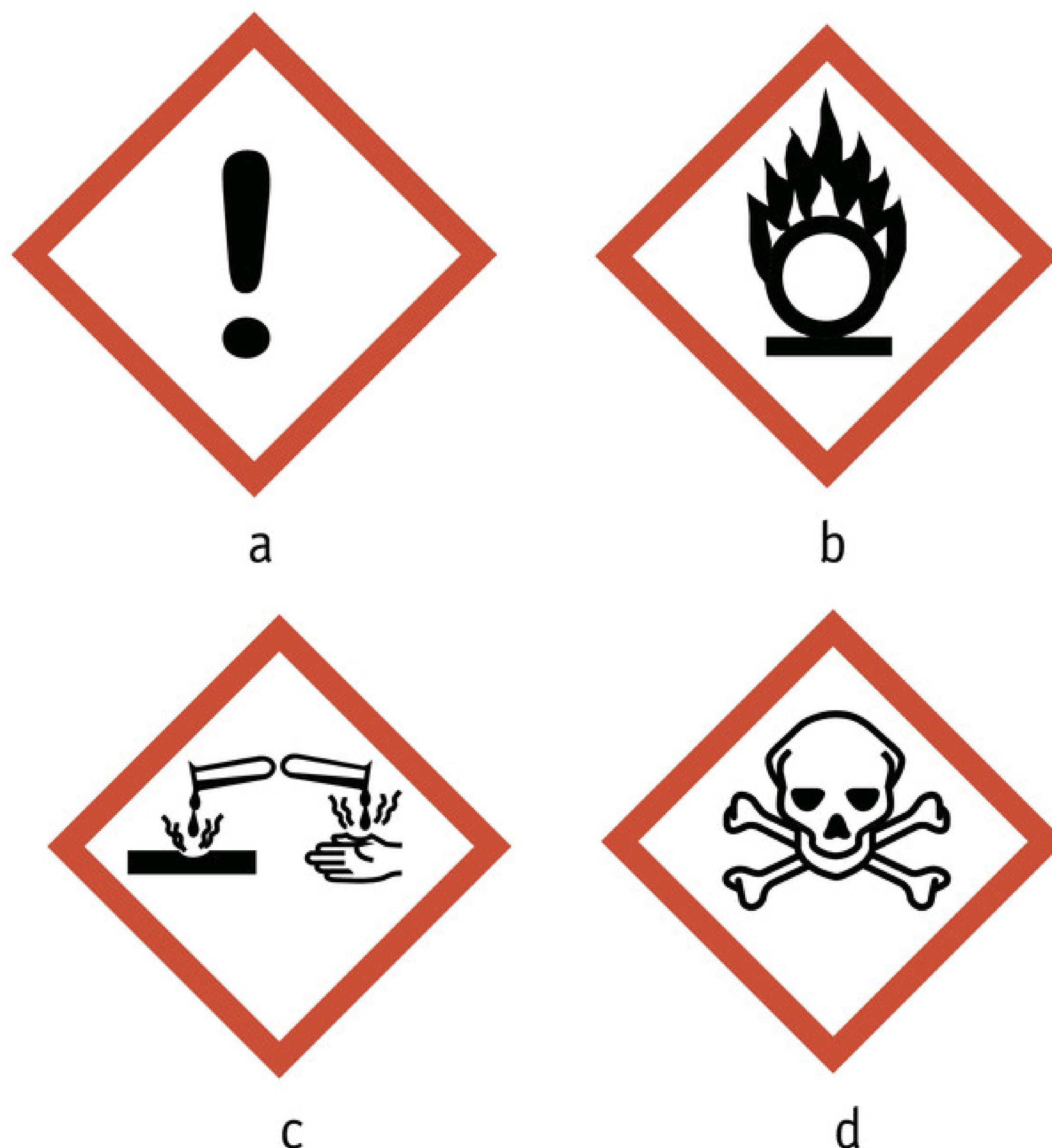
Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 t/m 15 ook op de computer maken.

1 In een fles zit een heldere, kleurloze vloeistof met een sterke geur.
Welke van de volgende stoffen kan dat zijn?
- **a** ethanol
- **b** spiritus
- **c** olijfolie
- **d** suikerwater
- **e** azijn
- **f** water

2 Welke van de volgende eigenschappen zijn geen stofeigenschap?
- **a** kleur
- **b** brandbaarheid
- **c** massa
- **d** dichtheid
- **e** prijs per kilogram
- **f** gewicht

3 Geef bij elk van onderstaande gevaren aan welk symbool uit figuur 45 daarbij hoort.
- **a** Een stof is giftig.
- **b** Een stof is corrosief.
- **c** Een stof is brandbevorderend.
- **d** Een stof is schadelijk voor de gezondheid.



▲ **figuur 45**
vier gevarensymbolen

4 Welke van de volgende beweringen is waar?
- **a** Een mengsel bestaat uit verschillende soorten moleculen.
- **b** In oplossingen zit altijd water.
- **c** Je kunt opgeloste stoffen met een filter uit het oplosmiddel halen.
- **d** Een suspensie is troebel: je kunt er niet doorheen kijken.
- **e** Koffie, thee en frisdrank zijn voorbeelden van suspensies.
- **f** Oplossingen kun je alleen maken door middel van extraheren.
- **g** Je kunt ethanol als oplosmiddel gebruiken.
- **h** Vloeistof A drijft op vloeistof B als de dichtheid van A groter is dan die van B.

5 Wat is het residu als je thee zet met een theezakje in een pot heet water?
- **A** de theeblaadjes voordat je het zakje in de pot doet
- **B** de theeblaadjes nadat de thee klaar is
- **C** het hete water voordat het thee wordt
- **D** de thee

6 Je kunt geur- en smaakstoffen uit planten halen door ze in een geschikt oplosmiddel te leggen.
Hoe noem je deze manier om stoffen uit planten te winnen?

7 Op een geneesmiddel staat: Goed schudden voor gebruik.
Wat voor soort mengsel zal dit geneesmiddel waarschijnlijk zijn?

8 Neem over en vul in:

a	0,85 g	= … mg	**h**	175 mL	= … L
b	0,045 kg	= … g	**i**	0,234 m^3	= … dm^3
c	304 g	= … kg	**j**	0,01 L	= … mL
d	0,750 t	= … kg	**k**	0,35 L	= … cm^3
e	625 mg	= … g	**l**	205 cm^3	= … dm^3
f	980 kg	= … t	**m**	63 mL	= … cm^3
g	0,78 dm^3	= … cm^3	**n**	400 dm^3	= … m^3

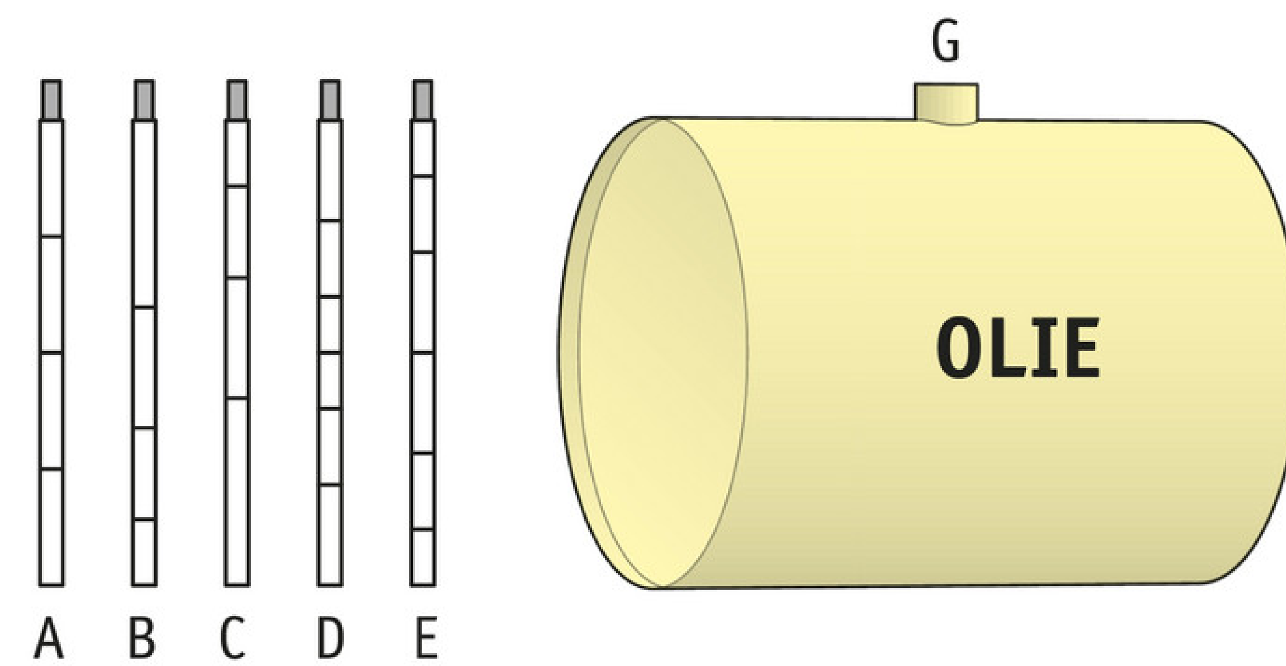
9 In een recept staat bij de ingrediënten: twee eetlepels zonnebloemolie.
Een eetlepel is in dit geval:
- **A** een niet erg nauwkeurige, maar wel handige eenheid van massa.
- **B** een niet erg nauwkeurige, maar wel handige eenheid van volume.
- **C** een niet erg nauwkeurige, maar wel handige eenheid van dichtheid.
- **D** geen eenheid; je kunt ook (af)meten zonder eenheden te gebruiken.

10 In figuur 46 zie je enkele cilindertjes die op een school bij dichtheidsproeven worden gebruikt. De cilindertjes zijn 4,0 cm hoog en hebben een diameter van 1,0 cm.
Bereken het volume van één cilindertje.



▲ **figuur 46**
Hoe groot is het volume van één cilindertje?

11 In figuur 47 is een olievat getekend. Om te meten hoeveel olie er nog in het vat zit, wordt een peilstok gebruikt die via gat G in het vat wordt gestoken. Op de stok is een schaalverdeling aangebracht, waarop elk volgend streepje dezelfde volumeverandering aangeeft.
Op welke peilstok is de juiste schaalverdeling voor dit vat aangegeven: A, B, C, D of E?

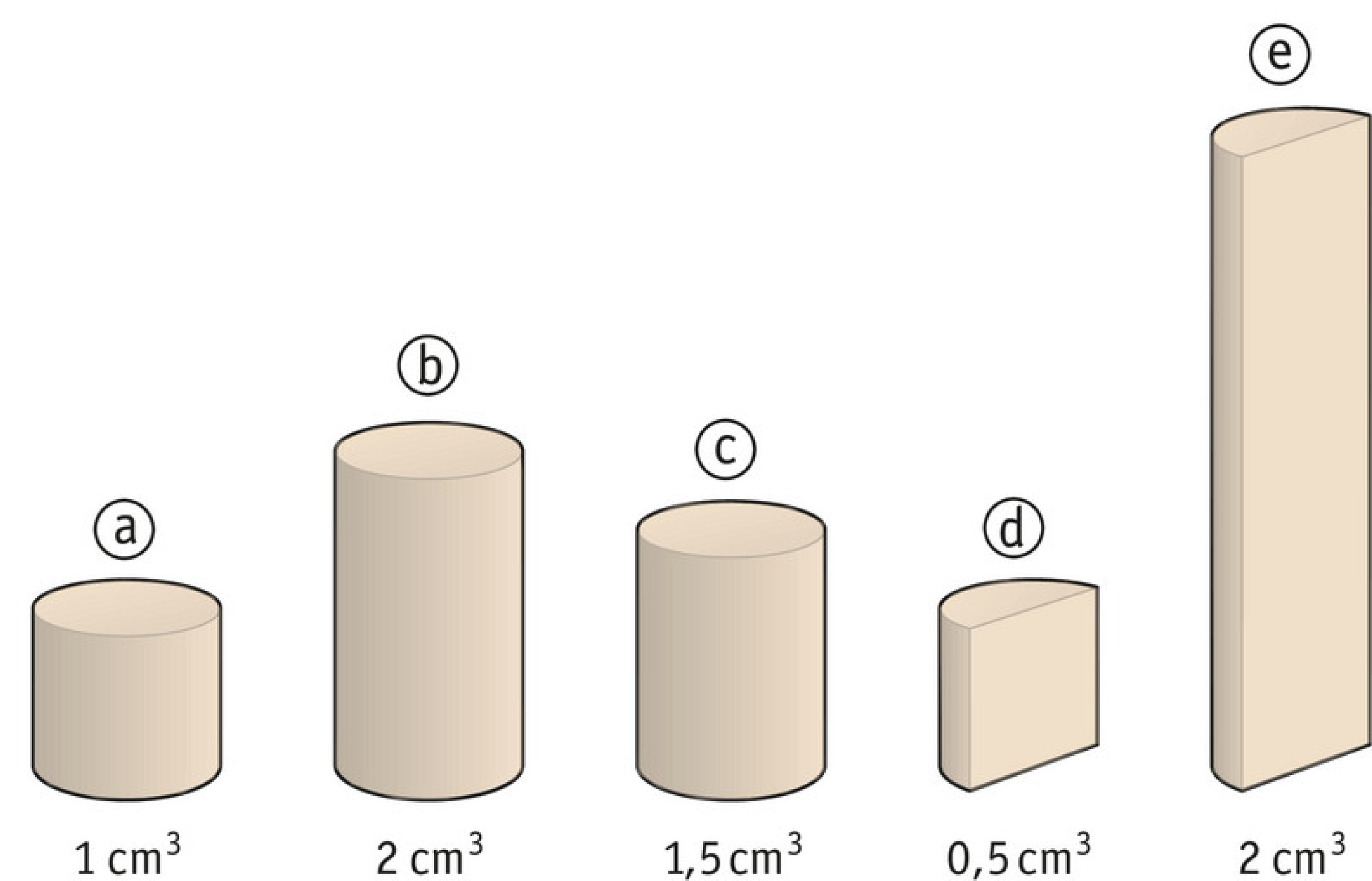


▲ **figuur 47**
olie peilen met een peilstok

12 Op een fles azijn staan de volgende gegevens:
8 vol.% – 1,0 L.
Bereken hoeveel milliliter azijnzuur er in deze fles zit.

13 Op het etiket van een fles limonadesiroop staat:
0,75 L | 850 g.
Bereken de dichtheid van de limonadesiroop in kg/L.

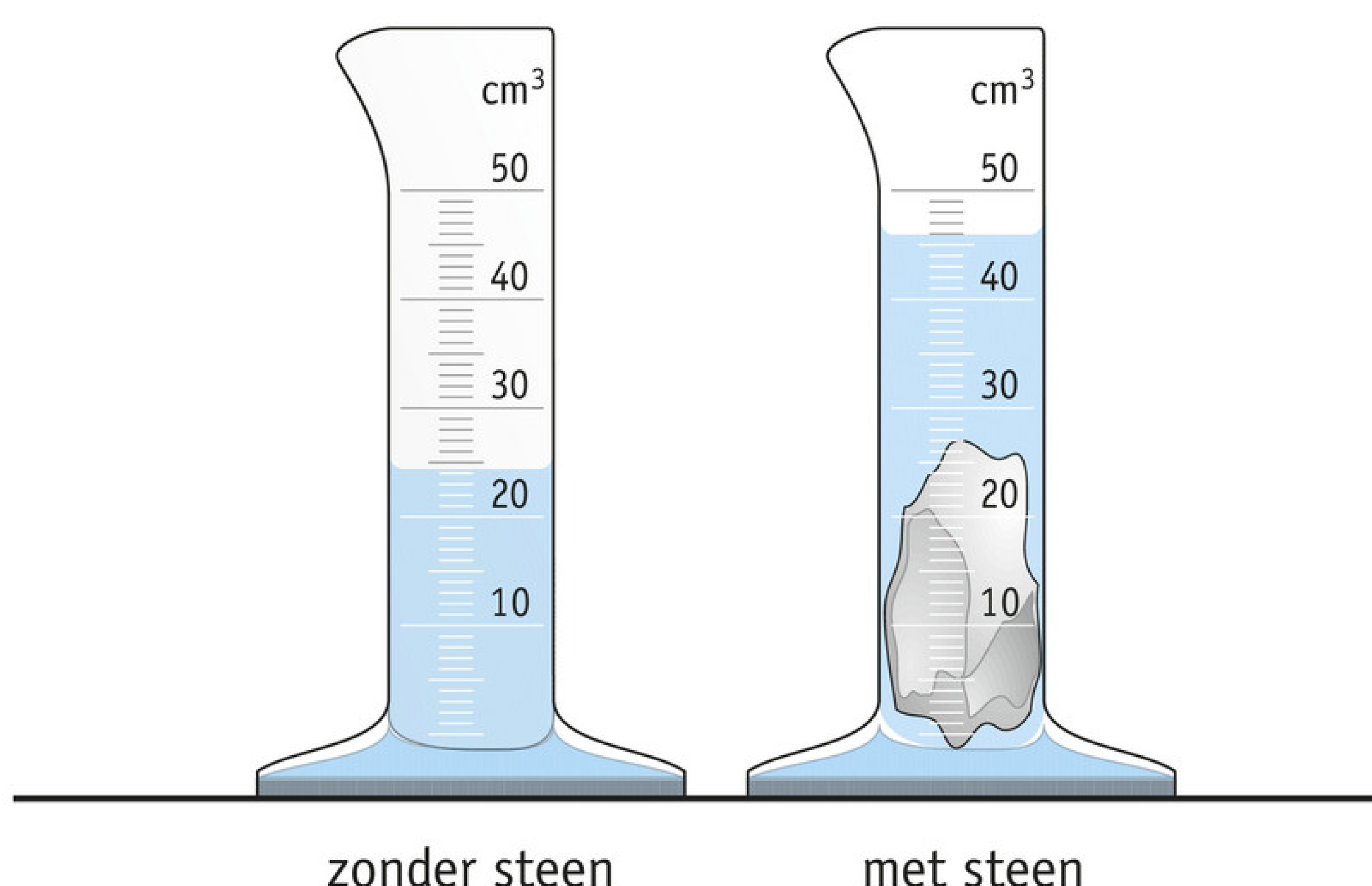
14 Iris zaagt allerlei stukken hout van een bezemsteel (figuur 48).
- **a** Welke stukken hebben dezelfde massa?
- **b** Welke stukken hebben dezelfde dichtheid?



▲ **figuur 48**
vijf stukken van een bezemsteel

15 Willem meet met een weegschaal dat de massa van een steen gelijk is aan 55 g. Hij meet het volume met een maatglas (figuur 49).

- **a** Bepaal met behulp van figuur 49 het volume van de steen.
- **b** Bereken de dichtheid van deze steensoort in g/cm³.



▲ **figuur 49**
Zo bepaalt Willem het volume van de steen.

16 Het woord ‘zuiver’ wordt in het dagelijks leven op een andere manier gebruikt dan in de natuur- en scheikunde.

- **a** Wat wordt in het dagelijks leven bedoeld met ‘zuiver drinkwater’?
- **b** Wat verstaat een scheikundige onder zuiver water?

17 Anouk krijgt een kannetje met een vloeistof en de opdracht daarvan de dichtheid te bepalen.

- **a** Welke grootheden moet Anouk meten?
- **b** Beschrijf stap voor stap hoe zij de metingen moet uitvoeren.
- **c** Onderstreep de hulpmiddelen die ze daarbij nodig heeft.

18 Op een doos met cilindervormige kaarsen staat het etiket van figuur 50.
Bereken met de informatie op het etiket de dichtheid van de stof waarvan de kaarsen gemaakt zijn.

HEMA

▶ **30 Huishoudkaarsen 1,5 kg**

▶ Lengte 18 cm – Ø 20 mm

▶ ca. 6 branduren per kaars

▶ kaarsen loodrecht en minimaal 10 cm uit elkaar plaatsen
kaarsen niet op de tocht of in warme luchtstroom plaatsen
plaats rondom de pit schoonhouden
lange pitten kunnen roet veroorzaken, zonodig pit inkorten tot ca. 1 cm
niet met water doven

HEMA B.V. AMSTERDAM

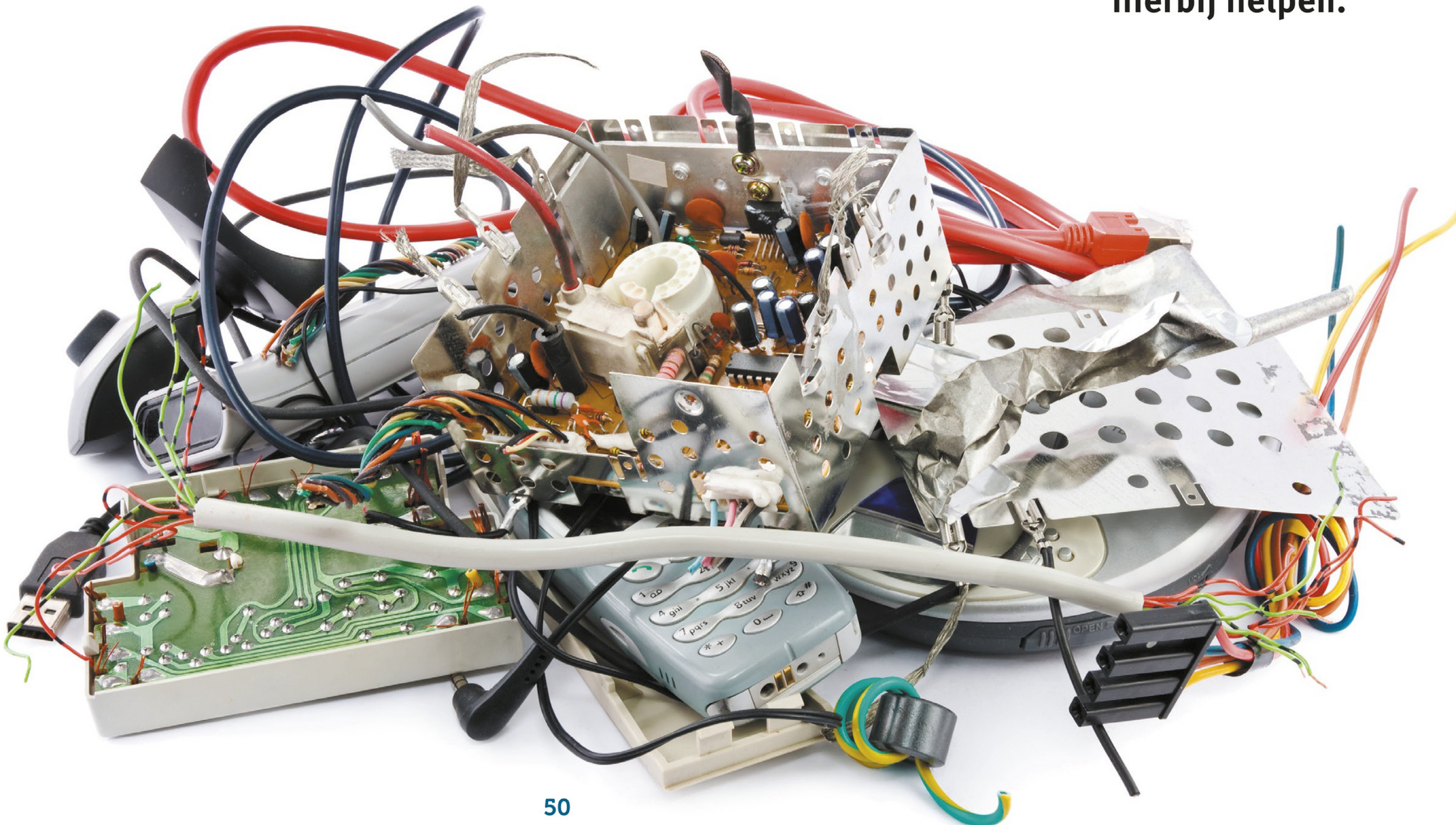
▲ **figuur 50**
het etiket op een doos kaarsen

19 Klaas maakt limonade voor zijn broertje. Hij doet 20 g siroop in een glas en doet daar 200 mL water bij.

- **a** Bereken de concentratie van de siroop in het glas in gram per liter.
- **b** Klaas wil daarna een grote kan limonade maken en giet 1,5 liter water in de kan. Hij wil limonade maken met dezelfde concentratie als bij het glas voor zijn broertje. Bereken hoeveel siroop hij moet toevoegen.

WAT GEBEURT ER MET MIJN OUDE MOBIELTJE?

De kans is groot dat je kapotte of hopeloos verouderde smartphone uiteindelijk in een ver land terechtkomt. Daar wordt het apparaat dan op een weinig milieuvriendelijke manier gesloopt. Zonder dat je het wilt, draag je zo bij aan de afvalproblemen die door oude elektrische apparaten worden veroorzaakt. Consumenten kunnen zelf iets aan deze afvalproblemen doen. Betere voorlichting moet hierbij helpen.





E-waste

Jaarlijks gooien we in Nederland en andere westerse landen vele miljoenen elektrische apparaten weg. Die berg afgedankte elektrische apparaten noemen we e-waste. Dat zijn niet alleen telefoons, maar ook koelkasten, computers, televisies, printers, laptops, enzovoort. In Europa zijn de regels voor het verwerken van e-waste veel strenger dan in landen als China. Dit soort afval mag hier niet gestort worden op een vuilnisbelt en al helemaal niet verbrand. Recyclen wordt gestimuleerd, maar moet wel voldoen aan allerlei milieu- en veiligheidsregels. Bovendien zijn de lonen hier hoog. Dat alles maakt het verwerken van e-waste in Europa duur. Om deze reden gaat een groot deel van onze oude apparaten voor verwerking naar andere landen.

Kinderarbeid

In China en andere verre landen met lage lonen vind je in steden en dorpen duizenden gezinnen die de hele dag bezig zijn met het slopen van e-waste. Ook kinderen werken mee, vaak omdat hun ouders niet genoeg verdienen. Kinderen hebben daardoor geen of minder tijd om naar school te gaan. Hierdoor is de kans klein dat ze later beter werk zullen vinden.

Giftige dampen

Bij het slopen worden de materialen die geld opbrengen gescheiden van de waardeloze onderdelen. In de ene sorteerbak liggen stukjes aluminium, in de volgende stukjes koper en in weer een andere bak stukjes lood. Uit e-waste kunnen zo'n zestig verschillende soorten stoffen gehaald worden, vooral metalen.
Veel van het slopen van e-waste kan met een hamer en een tang, maar de kleine onderdeeltjes van een printplaat zijn lastiger om te verwijderen. Een printplaat is een plastic plaat waarop kleine elektronische onderdelen zoals transistors en chips zitten gesoldeerd. Het kost te veel tijd om die stuk voor stuk met een soldeerbout weg te halen. Daarom legt men de printplaat op een gloeiend hete metalen plaat. Zo smelt het soldeer en kun je de onderdelen met een tangetje gemakkelijk van de printplaat halen. Maar bij dat verhitten komen ook giftige dampen vrij, zoals looddampen.

Als je die dampen inademt kunnen je hart, botten, nieren en zenuwstelsel aangetast worden. Je krijgt pijn, raakt in de war en je kunt er zelfs uiteindelijk aan dood gaan.

E-waste voorkomen

De meeste Chinezen die met e-waste werken, weten wel dat het werk slecht is voor hun gezondheid. Maar veel mensen gaan er gewoon (illegaal) mee door, omdat ze er behoorlijk mee verdienen en ook omdat er geen ander werk is. Gelukkig worden ook in landen als China de milieuregels strenger. De Chinese overheid is begonnen met het invoeren van een verwijderingsbijdrage voor elektrische apparaten, net als bij ons. Iedereen die een apparaat aanschaft, betaalt dus mee aan de verwerking van dat apparaat als het is afgedankt. Bovendien wil de Chinese regering legale recyclebedrijven helpen met subsidies. Daardoor kunnen zij de concurrentie met illegale bedrijven beter aan.

Ook de fabrikanten van elektronica nemen maatregelen om te voorkomen dat hun producten afvalproblemen opleveren. Ze ontwerpen hun apparaten zo dat ze gemakkelijk gesloopt kunnen worden. Ook hebben ze een verdrag ondertekend waarin staat dat ze ervoor zullen zorgen dat hun producten legaal gerecycled zullen worden. Bij de winkel waar je een apparaat koopt, kun je je oude apparaat inleveren. Die winkel of het bedrijf zorgt dan voor een goede verwerking van je oude apparaten.

Maar jij als consument kunt ook iets doen. Doe bijvoorbeeld wat langer met je tablet of smartphone. Laat je niet door de reclame verleiden om telkens weer een nieuw model te kopen. En als je je telefoon niet meer wilt en hij werkt nog, maak er dan iemand anders blij mee. Als hij echt onbruikbaar is, lever hem dan in bij een milieuplein. Denk niet dat jouw keuze niets uitmaakt. Alle kleine beetjes helpen!



Opgaven

1 E-waste kan op verschillende manieren verwerkt worden.
- **a** Hoe kunnen afgedankte apparaten nog gebruikt worden?
- **b** Hoe wordt e-waste in China gerecycled?
- **c** Noem zo veel mogelijk stoffen die in afgedankte pc's en beeldschermen zitten.
- **d** Ongeveer 6,3% van de massa van een gemiddelde computer bestaat uit lood. Schat de massa van een computer (zonder beeldscherm). Bereken hoeveel gram lood die bevat.
- **e** In een ton dvd-spelers zit maximaal 16 gram goud. Schat de massa van een gemiddelde dvd-speler. Bereken hoeveel dvd-spelers je minstens nodig hebt om 1,0 gram goud te winnen.

2 Kritische mineralen zijn stoffen die bij de productie van elektronica onmisbaar zijn. Die stoffen worden gemaakt uit delfstoffen. Een groot aantal van deze stoffen komt bijna alleen in China voor.
- **a** Waarom zouden deze mineralen 'kritisch' worden genoemd?
- **b** Leg uit waarom het voor andere landen ongunstig is dat veel grondstoffen voor kritische mineralen bijna alleen in China voorkomen.
- **c** China bezit ook het grootste deel van de ertsen voor de 'zeldzame aardmetalen' (*Rare Earth Elements*). Zoek de belangrijkste van deze metalen op en ga na of ze ook echt zeldzaam zijn.
- **d** Een bekend aardmetaal is neodymium (Nd). Zoek twee stofeigenschappen van neodymium op.
- **e** Zoek uit waarvoor neodymium wordt gebruikt in windturbines.
- **f** Zoek uit wat het gevaar van werken met dit metaal is.
- **g** De prijs van Nd was in 2009 ongeveer 14 dollar per kilogram. Zoek uit hoeveel een kilogram Nd nu kost.

3 In de figuur hieronder zie je een groot aantal kritische mineralen. Kies er een uit en maak over dit mineraal een poster waarop je aandacht besteedt aan tenminste de volgende zaken:
- Welke stofeigenschappen heeft het mineraal?
- Waar wordt het mineraal gevonden?
- Wat zijn de toepassingen van het mineraal?
- Wat is de prijs en zeldzaamheid van het mineraal?







3 Water

Het weer

Bij veel activiteiten ben je afhankelijk van het weer. Een feest is geen feest meer, als de regen opeens met bakken uit de hemel komt. Wintersporters kunnen niet skiën als er te weinig sneeuw is gevallen. Mist en ijzel kunnen het verkeer helemaal lam leggen.

1 IJs, water, waterdamp

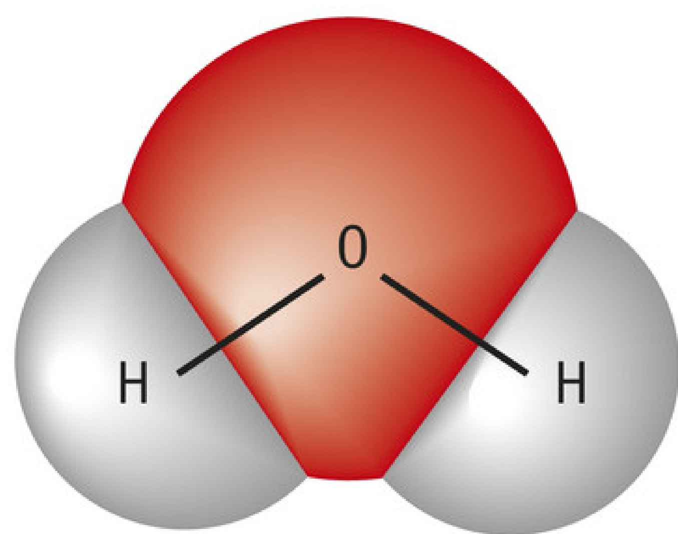
Regen, sneeuw, mist, hagel, rijp en dauw zien er heel verschillend uit. Regen heeft doorzichtige druppels, sneeuwvlokken zijn wit en donzig en mist is een dichte grijze nevel die je het zicht beneemt op de wereld om je heen. Toch gaat het steeds om dezelfde stof: water.

Vast, vloeibaar en gasvormig

Water kan, net als veel andere stoffen, voorkomen in drie toestanden:
- als **vaste stof**: ijs;
- als **vloeistof**: (vloeibaar) water;
- als **gas**: waterdamp.

Deze drie toestanden worden ook wel **fasen** genoemd. Vrijwel alle stoffen kunnen in deze drie fasen voorkomen.

Het is verwarrend dat woorden in het dagelijks leven soms iets anders betekenen dan in de natuurkunde of scheikunde. In het dagelijks leven is ijs iets anders dan water. Daar wordt het woord 'water' alleen gebruikt voor de vloeibare fase van de stof water. In de natuurkunde en scheikunde verwijst het woord 'water' naar de stof water en is ijs de vaste vorm van de stof water. Zo'n verschil in betekenis tussen de taal van het dagelijks leven en die van de natuur- en scheikunde zul je nog wel vaker tegenkomen.



▲ **figuur 1**
Een watermolecuul bestaat uit twee waterstofatomen en één zuurstofatoom.

Als je het over de stof zelf hebt, kun je ook de molecuulformule voor water gebruiken. Water bestaat uit watermoleculen. Zo'n watermolecuul bestaat weer uit kleinere deeltjes: de **atomen**. De atomen zijn de bouwstenen van moleculen. Een watermolecuul bestaat uit twee waterstofatomen (H) en één zuurstofatoom (O). Dat zie je in figuur 1. De molecuulformule van de stof water is dan ook H_2O.



▲ **figuur 2**
rijp

Regen, sneeuw, mist

Sneeuw, hagel en rijp (figuur 2) bestaan uit ijs. Als je een handvol sneeuw of hagel oppakt, smelt het ijs in je warme hand en blijft er alleen wat smeltwater over. Regen, mist en dauw bestaan uit waterdruppels. Bij regen en dauw kun je die druppels vaak goed zien, bij mist zijn ze microscopisch klein.

In het dagelijks leven wordt het woord 'waterdamp' gebruikt voor een nevel die uit fijne druppeltjes water bestaat. Die nevel kun je gewoon zien. In de natuur- en scheikunde is dat anders. Daar is waterdamp geen nevel, maar een onzichtbaar gas in de lucht om je heen. Dit gas bestaat uit losse watermoleculen die tussen de moleculen van de lucht zweven.



▲ **figuur 3**
Als de lucht koud is ontstaan er zichtbare 'nevelwolkjes' tijdens het uitademen.

In de lucht die je uitademt zit veel waterdamp. Op koude dagen kun je de waterdamp zien **condenseren**. Vlak voor je mond verschijnt dan een klein nevelwolkje (figuur 3). Condenseren is het veranderen van damp in vloeistof. Het woord condenseren komt van het Latijnse *com* = samen en *densare* = verdichten.

De fasen in het deeltjesmodel

Het is nog altijd lastig om moleculen zichtbaar te maken en te onderzoeken wat ze doen. Maar je kunt wel proberen om je hun gedrag voor te stellen. Je maakt dan een 'model van een stof'. In de natuurkunde en scheikunde wordt veel gebruik gemaakt van het **deeltjesmodel**. De moleculen van de stof zijn altijd hetzelfde, of de stof nu vast, vloeibaar of gasvormig is. Dat een stof verschillende fasen heeft, komt doordat de moleculen op verschillende manieren kunnen bewegen (en niet doordat de moleculen zelf veranderen). In het model worden moleculen weergegeven als bolletjes. Dat die moleculen vaak uit atomen bestaan, is voor het begrijpen van de fasen niet belangrijk. Een model helpt je om iets te begrijpen en dan laat je onbelangrijke dingen weg.

Vaste stof

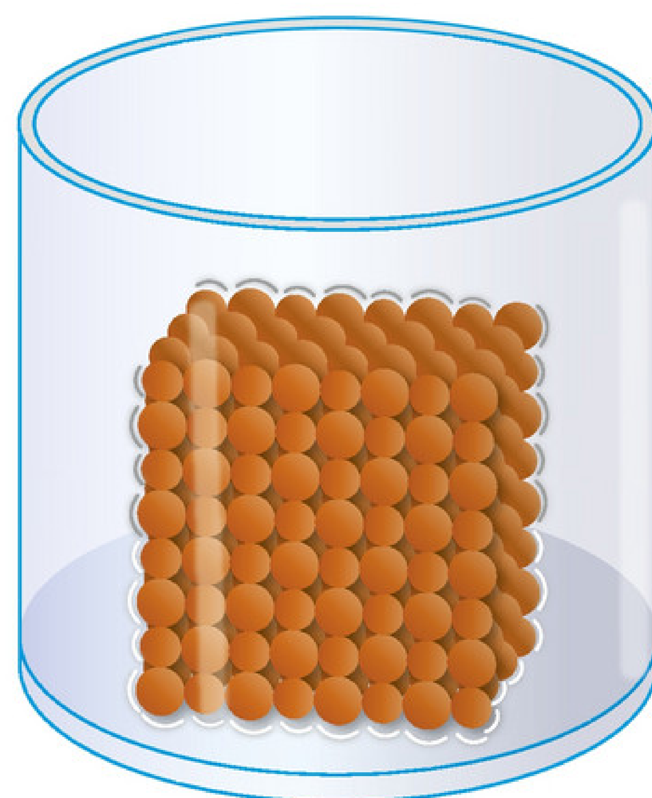
In een vaste stof hebben alle moleculen een eigen, vaste plaats (figuur 4a). De moleculen staan niet helemaal stil. Ze trillen voortdurend heen en weer rond een gemiddelde 'evenwichtsstand', zonder hun vaste positie ten opzichte van de andere moleculen kwijt te raken. Een blok ijs heeft daardoor niet alleen een vast volume, maar ook een vaste vorm.

Vloeistof

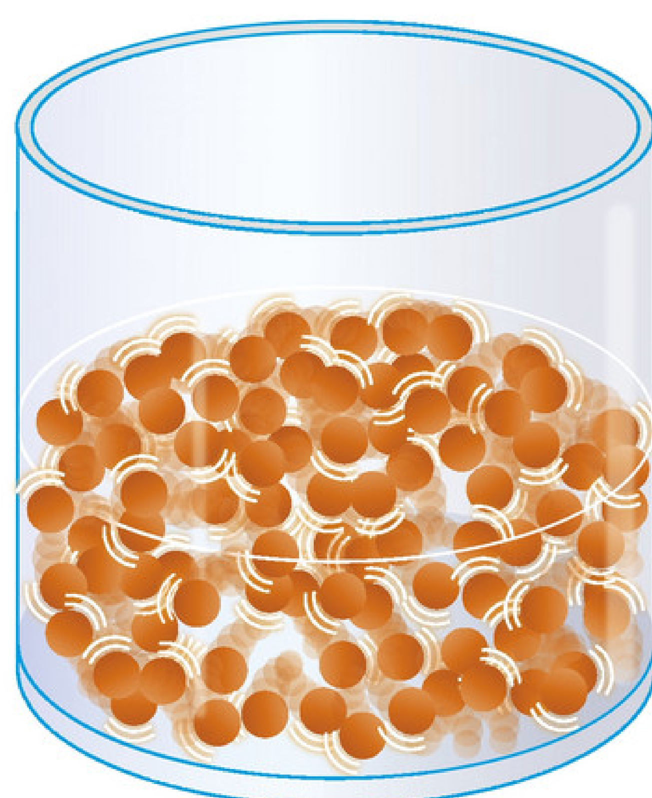
In een vloeistof hebben de moleculen geen vaste plaats. Ze bewegen voortdurend in alle richtingen langs elkaar heen (figuur 4b). Doordat de moleculen niet aan een vaste plaats gebonden zijn, heeft een waterdruppel geen vaste vorm. De moleculen blijven wel zo dicht mogelijk bij elkaar. Daardoor heeft een druppel water wel een vast volume.

Gas

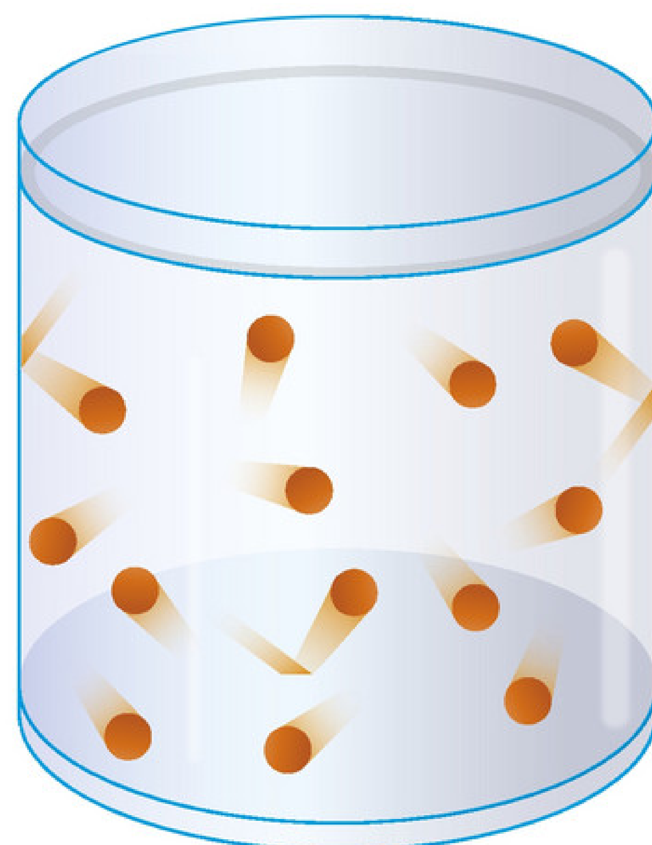
De moleculen van een gas bewegen los van elkaar. Ze verspreiden zich meteen over de ruimte waar het gas in zit (figuur 4c). Hun onderlinge afstand is gemiddeld erg groot. De moleculen beïnvloeden elkaar niet, behalve wanneer ze op elkaar botsen. Een gas zoals waterdamp heeft daardoor geen vaste vorm en ook geen vast volume.



ⓐ vaste stof



ⓑ vloeistof



ⓒ gas

◀ **figuur 4**
de moleculen in een vaste stof (a), een vloeistof (b) en een gas (c)



▲ figuur 5
Een waterdruppel aan een kraan is een samenspel van cohesie en adhesie.

Cohesie en adhesie

Moleculen van dezelfde stof trekken elkaar aan. Dat heet **cohesie** (van het Latijnse *com* = samen en *haerere* = blijven steken). Er kan ook een aantrekkingskracht bestaan tussen moleculen van verschillende stoffen. Dat heet **adhesie**. Cohesie zorgt ervoor dat een waterdruppel een bolvorm aanneemt. Adhesie zorgt ervoor dat een waterdruppel aan een kraan blijft hangen (figuur 5).

Bij materialen die water absorberen, zoals keukenpapier en tissues, is de adhesie tussen de watermoleculen en de moleculen van het keukenpapier groter dan de cohesie van de watermoleculen onderling. Daardoor trekt het water in het keukenpapier.
Bij andere stoffen is dat precies omgekeerd. Waterdruppels blijven bijvoorbeeld als bolletjes op een vettig oppervlak liggen, omdat vet- en watermoleculen elkaar niet aantrekken en de watermoleculen onderling dat wel doen. Er is dus geen adhesie, alleen cohesie.

Kristallen

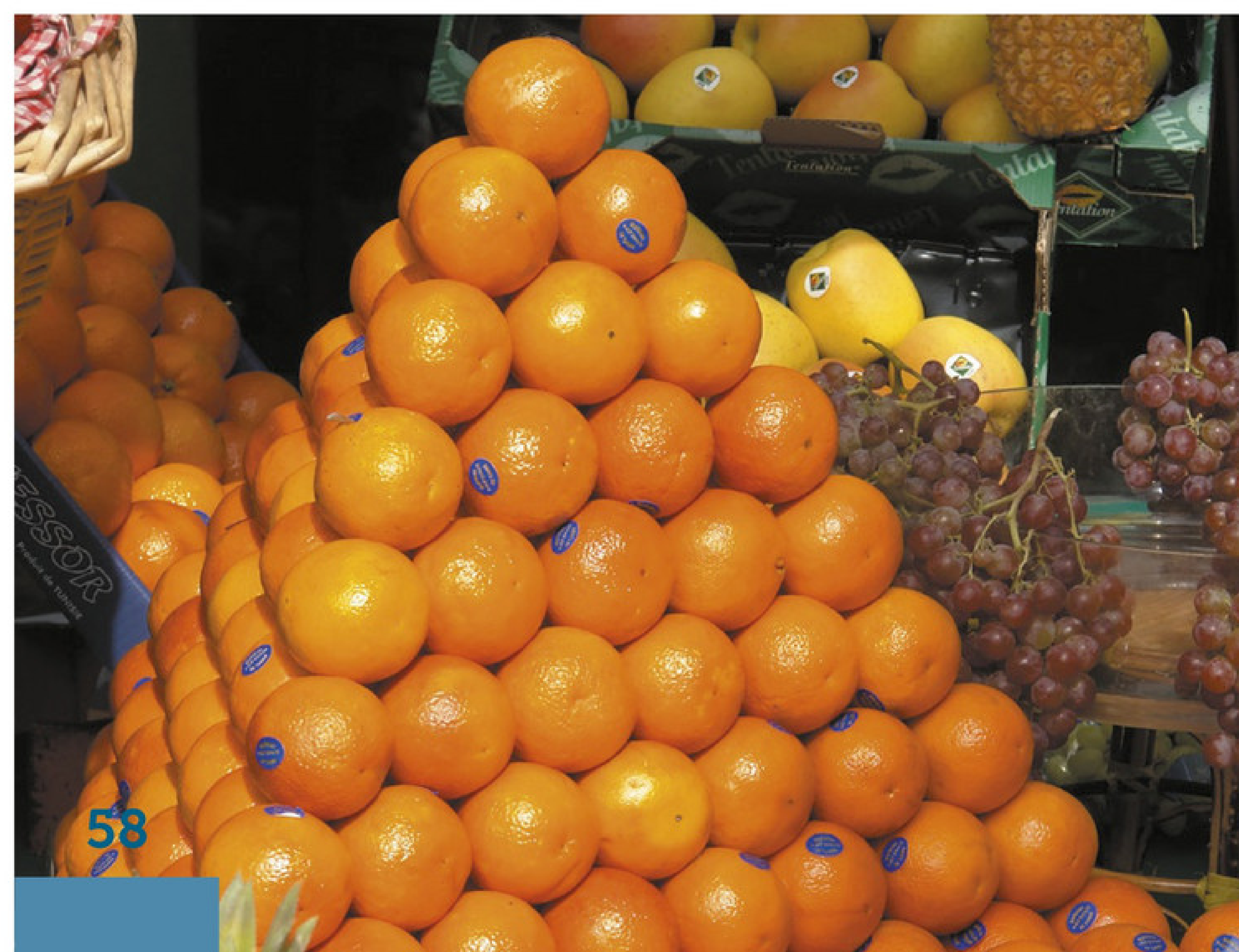
Sneeuw bestaat uit ijskristallen die allerlei mooie vormen hebben. Toch kun je in al die verschillende vormen dezelfde zeshoekige structuur herkennen. Deze **kristalstructuur** is kenmerkend voor ijs (figuur 6). Veel vaste stoffen hebben een eigen kenmerkende kristalstructuur. Stoffen die uit kristallen bestaan heten **kristallijne stoffen**.

▶ figuur 6
De ijskristallen in sneeuwvlokken hebben een herkenbare, zeshoekige structuur.



Dat kristallen een vaste vorm hebben, kun je verklaren met het deeltjesmodel. Omdat de moleculen van een stof allemaal gelijk zijn, kunnen ze op een regelmatige manier ‘gestapeld’ worden, net zoals sinaasappels in een supermarkt (figuur 7). Zo ontstaat een **kristalrooster** waarin elk molecuul een vaste plaats heeft.

▶ figuur 7
Moleculen zijn geordend in kristallen, net zoals deze sinaasappels in een stapel.





Kristallen kunnen microscopisch klein zijn, maar ook centimeters groot. Een stuk bergkristal bestaat uit grote kristallen die aan elkaar zijn vastgegroeid. De kristalstructuur is dan ook met het blote oog goed waarneembaar (figuur 8).
Metalen bestaan uit een samenklontering van heel veel kleine kristalletjes.

▲ **figuur 8**
een stuk bergkristal

Plus De buienradar



▲ **figuur 9**
In deze witte koepel draait de weerradar van het KNMI in De Bilt.

Een buienradar, of beter weerradar, kan regendruppels en andere vormen van neerslag zichtbaar maken op een scherm. Een aantal weerradars samen kunnen zelfs laten zien waar het regent, hoe hard het regent en in welke richting de buien zich verplaatsen. Ook kan een weerradar meten op welke hoogte de toppen van de wolken zich bevinden en hij kan vaststellen of het gaat om regen, hagel of sneeuw.
De weerradar ziet altijd de vaste fase van water: sneeuw en hagel. De vloeibare fase, regen, ziet de weerradar niet altijd. De druppeltjes van miezerregen bijvoorbeeld zijn te klein voor de weerradar. En waterdamp ziet een weerradar al helemaal niet.

Radar werd in de Tweede Wereldoorlog uitgevonden. Daarmee konden vijandelijke vliegtuigen op grote afstand worden opgespoord. Nu maken ook meteorologen (weerkundigen) er uitgebreid gebruik van (figuur 9). Een radar is een apparaat dat radiogolven uitzendt. Radiogolven behoren tot een grote 'familie' van allerlei soorten golven. Daartoe behoren bijvoorbeeld ook microgolven (die maken het eten warm in de magnetron) en lichtgolven. Radiogolven zijn geschikt om voorwerpen in de lucht waar te nemen. Dit werkt als volgt. Een radar zendt golven uit. Deze golven worden teruggekaatst door een voorwerp, waarna de radar de terugkerende golven opvangt. Uit de tijd die is verstreken tussen het uitzenden en terugontvangen van de golven kan de radarcomputer berekenen hoe ver weg het voorwerp is (figuur 10). Door een aantal metingen na elkaar te doen, kan de radar ook de richting en snelheid bepalen. Als het voorwerp erg klein is, bijvoorbeeld waterdruppeltjes van miezerregen, dan kaatst het de radiogolven niet terug. De radar kan het voorwerp dan niet zien.



▶ **figuur 10**
Met radargolven kun je voorwerpen in de lucht 'waarnemen'.

opgaven

1 In welke fase is de stof water bij de volgende weersverschijnselen?
- **a** regen
- **b** sneeuw
- **c** hagel
- **d** mist
- **e** rijp

2 De moleculen in een hagelsteen vertonen ander 'gedrag' dan de moleculen in een regendruppel.
- **a** Welk belangrijk verschil is er volgens het deeltjesmodel?
- **b** Een regendruppel heeft geen vaste vorm, maar wel een vast volume. Geef hiervoor een verklaring met behulp van het deeltjesmodel.

3 De foto in figuur 11 is vlak na een ijzelbui gemaakt. De ijzel heeft een doorzichtig laagje gevormd op een tak.
- **a** In welke fase was het water toen het de tak raakte? Waaraan zie je dat?
- **b** In welke fase was het water toen de foto gemaakt werd? Waaraan zie je dat?



▶ **figuur 11**
een ijzellaagje op een tak

4 Ook brandstoffen kunnen vast, vloeibaar of gasvormig zijn.
Geef een voorbeeld uit het dagelijks leven:
- **a** van een brandstof die gewoonlijk vast is;
- **b** van een brandstof die gewoonlijk vloeibaar is;
- **c** van een brandstof die gewoonlijk gasvormig is.

***5** Leg met behulp van het deeltjesmodel uit hoe het komt:
- **a** dat je een gas gemakkelijk kunt samenpersen, maar een vloeistof niet;
- **b** dat je water uit een bakje kunt gieten;
- **c** dat je snel overal in het practicumlokaal kunt ruiken dat er een gaskraan open staat.

6 Verklaar met de begrippen cohesie en adhesie:
- **a** dat een waterdruppel aan een kraan blijft hangen;
- **b** dat je met een krijtje op een bord of op een stoeptegel kunt schrijven;
- **c** dat waterdruppels van de veren van een eend afrollen zonder dat de veren nat worden.

7 Als je een suikerklontje met één uiteinde in een kop thee houdt, wordt het klontje helemaal donker.
- **a** Leg uit hoe dat komt. Gebruik daarbij de woorden 'adhesie' en/of 'cohesie'.
- **b** Als je een plastic roerstaafje in de thee houdt, gebeurt dat niet. Geef daarvoor twee mogelijke verklaringen.

***8** De industrialisering begon ruim twee eeuwen geleden met de stoommachine. In die machine wordt water verhit door steenkool te verbranden. Het water verdampt, waarbij onder hoge druk waterdamp ontstaat. Die waterdamp laat zuigers heen en weer bewegen. Die zuigers laten op hun beurt een wiel draaien.
- **a** Waaruit bestaat stoom in de alledaagse betekenis?
- **b** Leg uit hoe die machine in het taalgebruik van de natuurkunde zou moeten heten.

9 Sommige stoffen zijn kristallijn.
- **a** Wat wordt daarmee bedoeld?
- **b** Verklaar de naam 'kristalsuiker'.
- **c** De kristalstructuur is uitgelegd met een model van het stapelen van sinaasappels. Leg met behulp van dit model uit dat een stof verschillende kristalroosters kan hebben.

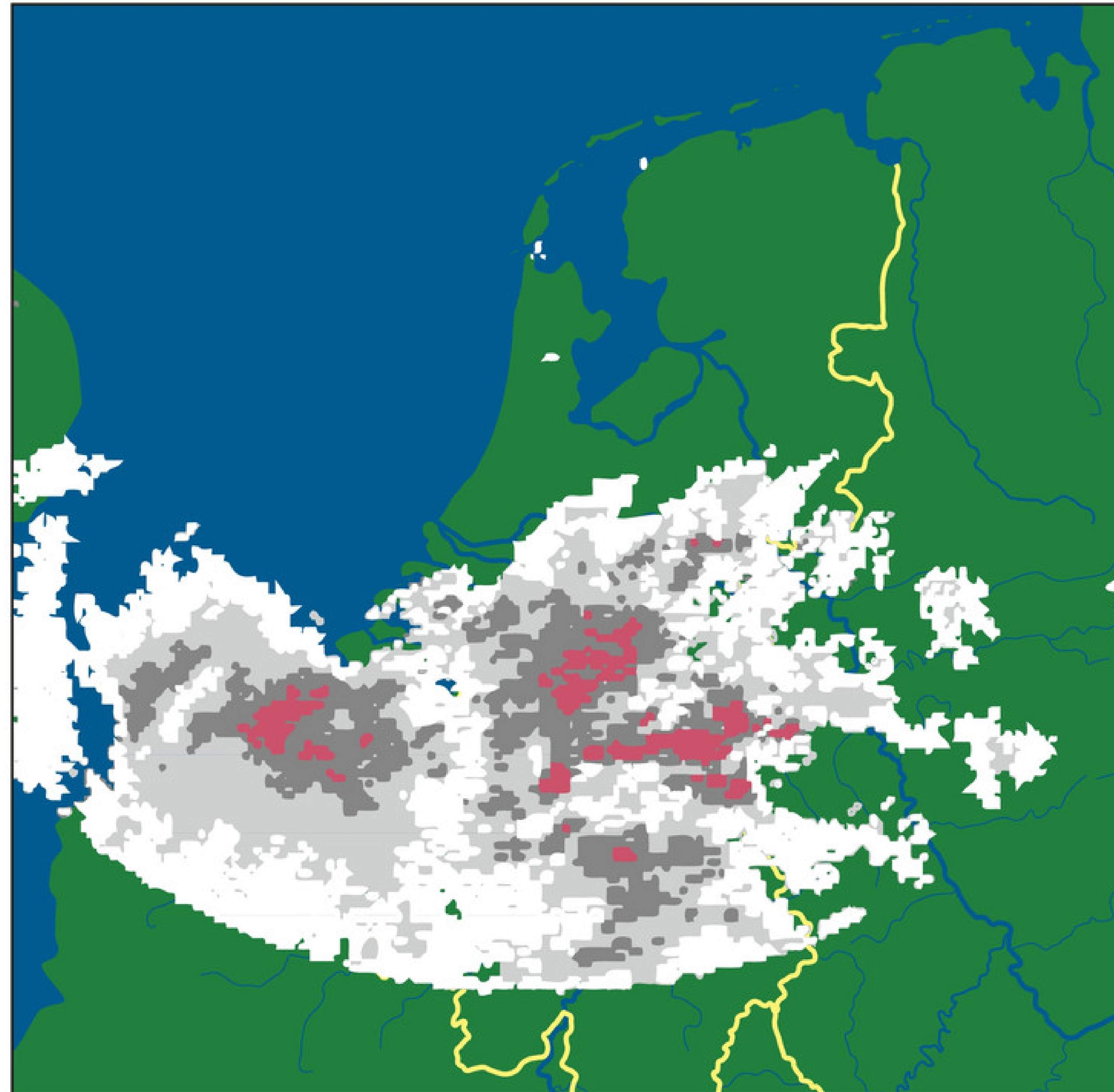
10 Zoek op internet informatie over sneeuwkristallen.
- **a** Verzamel een aantal foto's van sneeuwkristallen met verschillende vormen.
- **b** Hoe komt het dat sneeuwkristallen zoveel verschillende vormen hebben?
- **c** Hoe ziet de kristalstructuur eruit die je in al die vormen kunt herkennen?
- **d** Die kristalstructuur ontstaat steeds opnieuw. Leg uit hoe dat komt.

***11** Leg met behulp van het deeltjesmodel uit hoe het komt dat je een kristal alleen in bepaalde richtingen mooi in tweeën kunt splijten.

Plus De buienradar

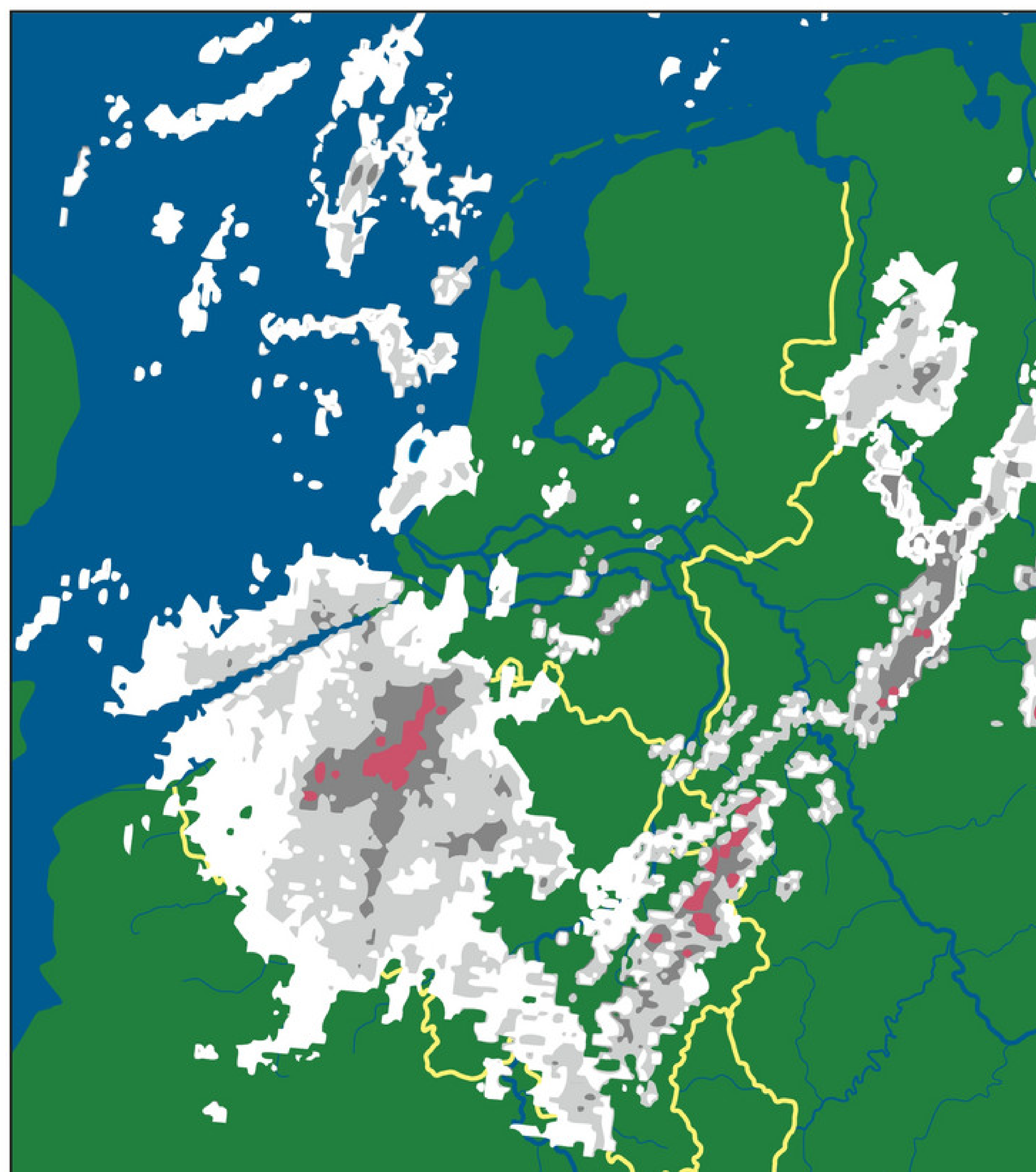
12 Een weerradar werkt met radiogolven.
- **a** Leg uit hoe je met radiogolven een voorwerp in de lucht kunt waarnemen.
- **b** Leg uit hoe een weerradar kan bepalen hoe ver weg een regenbui is.
- **c** Leg uit hoe een weerradar de snelheid van een regenbui kan bepalen.

13 In figuur 12 zie je het beeld van een weerradar.
- **a** Waarom heeft het gebied met buien niet overal dezelfde kleur?
- **b** Waaraan kun je zien dat een weerradar ronddraait?
- **c** Waarom is miezerregen niet zichtbaar op dit soort beelden?

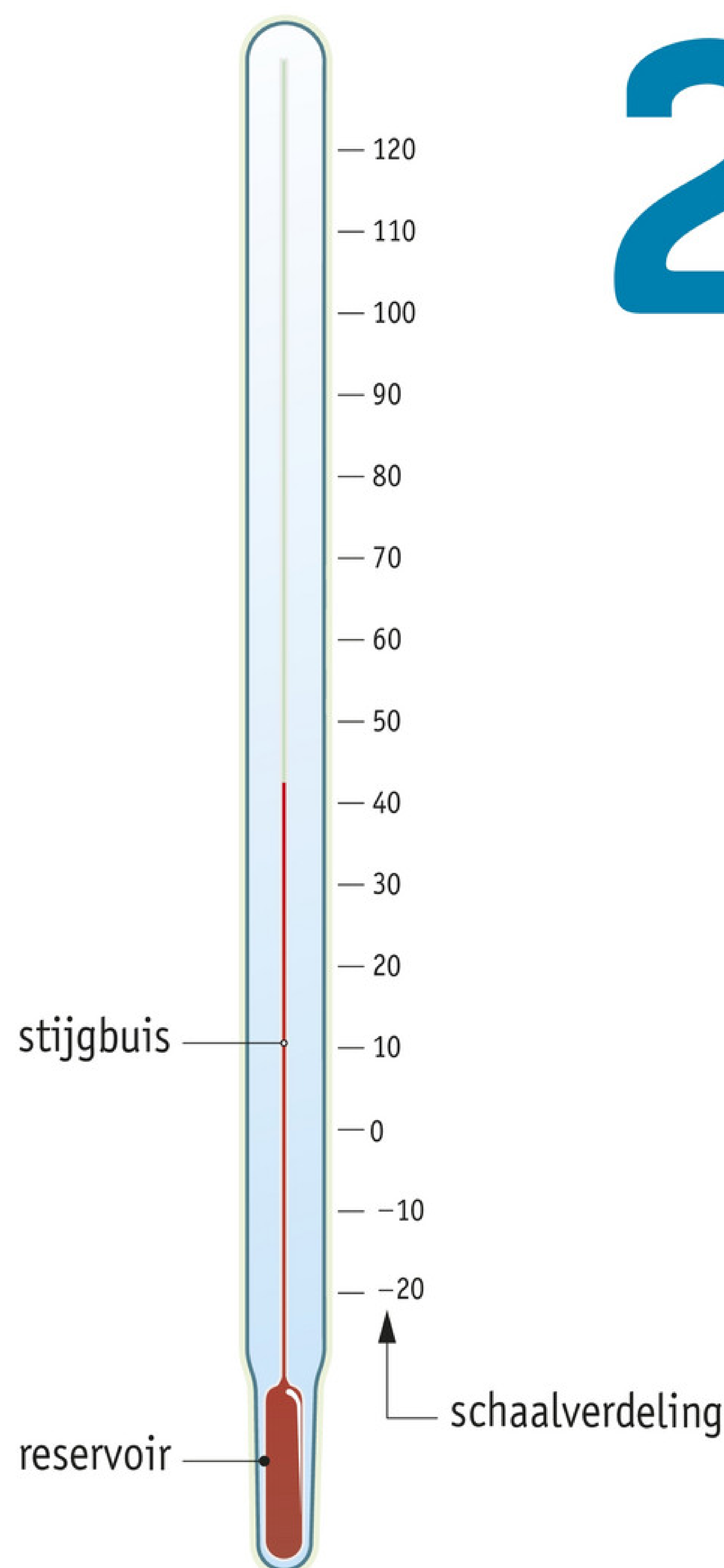


▶ **figuur 12**
beeld van een weerradar

***14** Een aantal jaren geleden is in de buurt van de weerradar van het KNMI in De Bilt een groot kantoor gebouwd. De radar gaf toen beelden zoals in figuur 13.
- **a** Hoe kun je dat beeld verklaren?
- **b** Waarom hebben weerradars over het algemeen geen last van gewone huizen?
- **c** Nu zie je het effect van dat gebouw niet meer op de weerradar. Kennelijk heeft men het probleem opgelost. Bedenk een manier waarop dat zou kunnen.



▶ **figuur 13**
verstoord beeld van de weerradar



▲ **figuur 14**
een vloeistofthermometer

2 Temperatuur

Meteorologen, een andere naam voor weerkundigen, voorspellen het weer van de komende dagen. Daarvoor gebruiken ze een netwerk van meetstations door heel Europa. Omdat ze de meetgegevens van vele jaren bewaren, kunnen meteorologen trends ontdekken. Zo kunnen ze bijvoorbeeld aangeven of de gemiddelde temperatuur in Nederland stijgt of niet. Een van de grootheden die bij zo'n meetstation gemeten wordt, is de temperatuur van de lucht.

De vloeistofthermometer

Het meetinstrument voor temperatuur is de **thermometer** (van het Griekse *thermè* = warmte). De **vloeistofthermometer** wordt al honderden jaren gebruikt. Zo'n thermometer bestaat uit een **reservoir** en een **stijgbuis** waarlangs een **schaalverdeling** is aangebracht (figuur 14). Het reservoir en een deel van de stijgbuis zijn gevuld met een vloeistof. In moderne thermometers wordt alcohol gebruikt, waaraan voor betere zichtbaarheid een kleurstof is toegevoegd. Als de temperatuur stijgt, zet de vloeistof in het reservoir uit. De vloeistof gaat dan in de stijgbuis omhoog. Als de temperatuur daalt, krimpt de vloeistof weer en daalt het vloeistofniveau. Omdat de buis erg nauw is, zie je de vloeistof al bij kleine temperatuurverschillen stijgen of dalen.

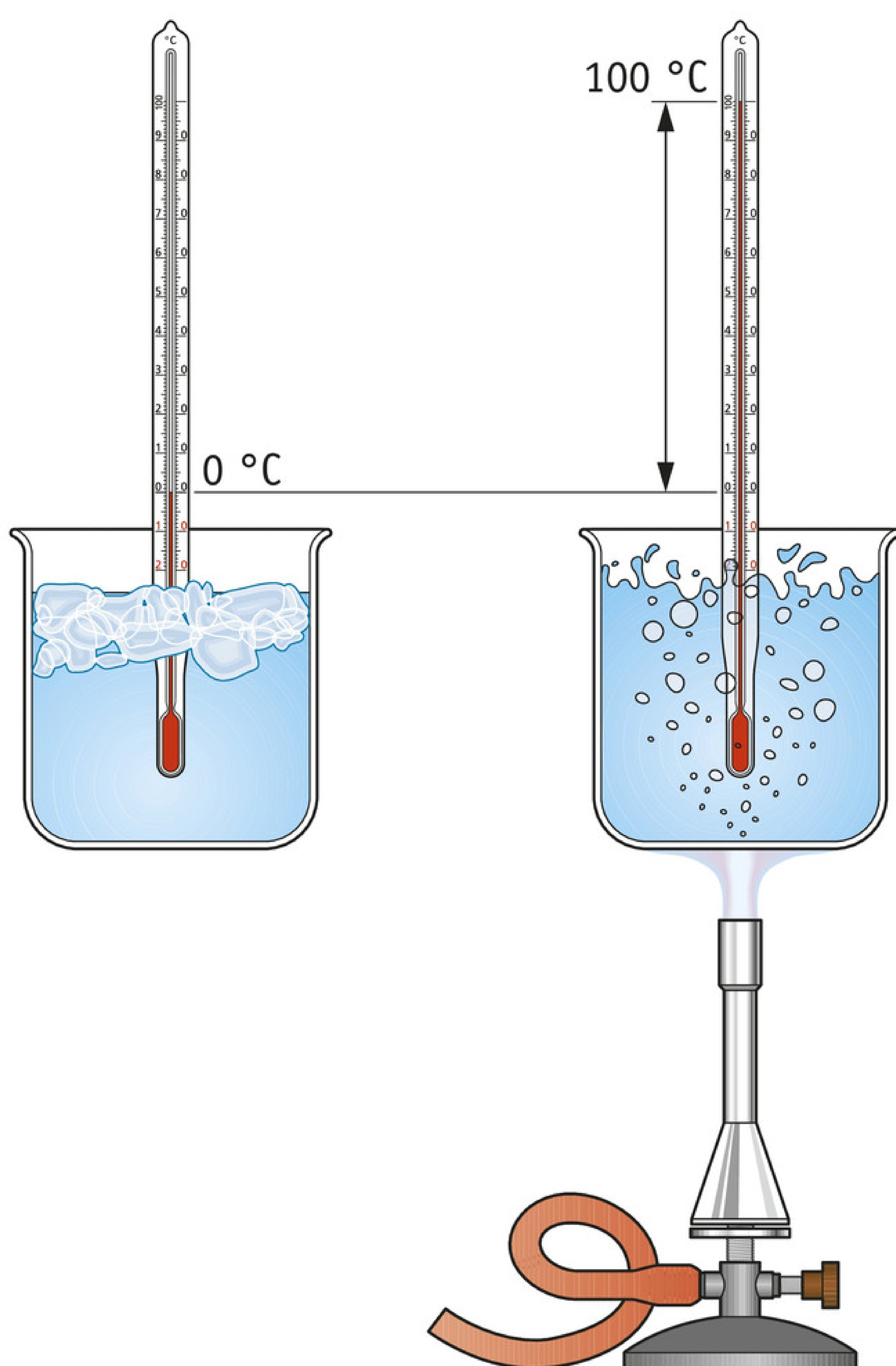
Je leest de temperatuur af door de hoogte van de vloeistof te vergelijken met de schaalverdeling langs de stijgbuis. In het dagelijks leven worden thermometers gebruikt met een schaalverdeling in **graden Celsius** (°C). Deze schaalverdeling wordt de Celsiusschaal genoemd.

Het verschil tussen de hoogste en laagste temperatuur die je met een thermometer kunt meten, noem je het **meetbereik** van de thermometer. Het meetbereik van de thermometer in figuur 14 loopt van −20 tot 120 °C.

IJken Proef 1

Het maken of controleren van een schaalverdeling op een meetinstrument heet **ijken**. In figuur 15 is getekend hoe je een thermometer kunt voorzien van een schaalverdeling in graden Celsius:

1 Neem als nulpunt (0 °C) het niveau van de vloeistof bij de temperatuur van smeltend ijs.
2 Neem als honderdpunt (100 °C) het niveau van de vloeistof bij de temperatuur van kokend water.
3 Verdeel de afstand tussen deze twee punten met streepjes in tien gelijke delen. Tussen de streepjes zit dan telkens een verschil van 10 °C.
4 Zet ten slotte ook streepjes met dezelfde tussenruimte onder het nulpunt en boven het honderdpunt.



▲ **figuur 15**
het maken van de schaalverdeling voor de temperatuur

Het is een kwestie van afspraak dat het smeltpunt van water precies 0 °C is en het kookpunt van water precies 100 °C. In Amerika bijvoorbeeld gebruikt men niet de schaal van Celsius, maar die van Fahrenheit. Bij die schaal hoort een ander nul- en een ander honderdpunt. Daar horen dus ook andere getallen bij het smelt- en kookpunt van water.

De temperatuur meten

Als je een thermometer in de zon hangt, krijgt hij een hogere temperatuur dan de buitenlucht. Een thermometer die in de zon hangt, kan de luchttemperatuur daardoor niet juist aangeven. Weerkundigen hangen hun thermometers daarom 1,5 meter boven de grond, in een witgeschilderd kastje. In de wanden van zo'n 'weerhut' zitten openingen waar de wind vrij doorheen kan waaien (figuur 16). De thermometers in de weerhut nemen de temperatuur aan van de voorbijstromende lucht. Zo kan de luchttemperatuur betrouwbaar gemeten worden.
In de meteorologie is precies voorgeschreven hoe en waar er gemeten moet worden. Dat geldt ook voor bijvoorbeeld luchtvochtigheid en windsnelheid.



▲ **figuur 16**
Een weerkundige leest de temperatuur af.

Temperatuursensoren

Om de temperatuur te meten, gebruik je tegenwoordig meestal een digitale thermometer. Die geeft de temperatuur aan met cijfers op een schermpje zodat je in één oogopslag ziet hoe hoog de temperatuur is. Een digitale thermometer werkt met een **sensor** (van het Latijnse *sentire* = voelen). Een sensor is een klein stukje elektronica dat een grootheid, bijvoorbeeld temperatuur, omzet in een elektrisch signaal. De electronica maakt van dat signaal dan een getal dat je op een scherm kunt aflezen.

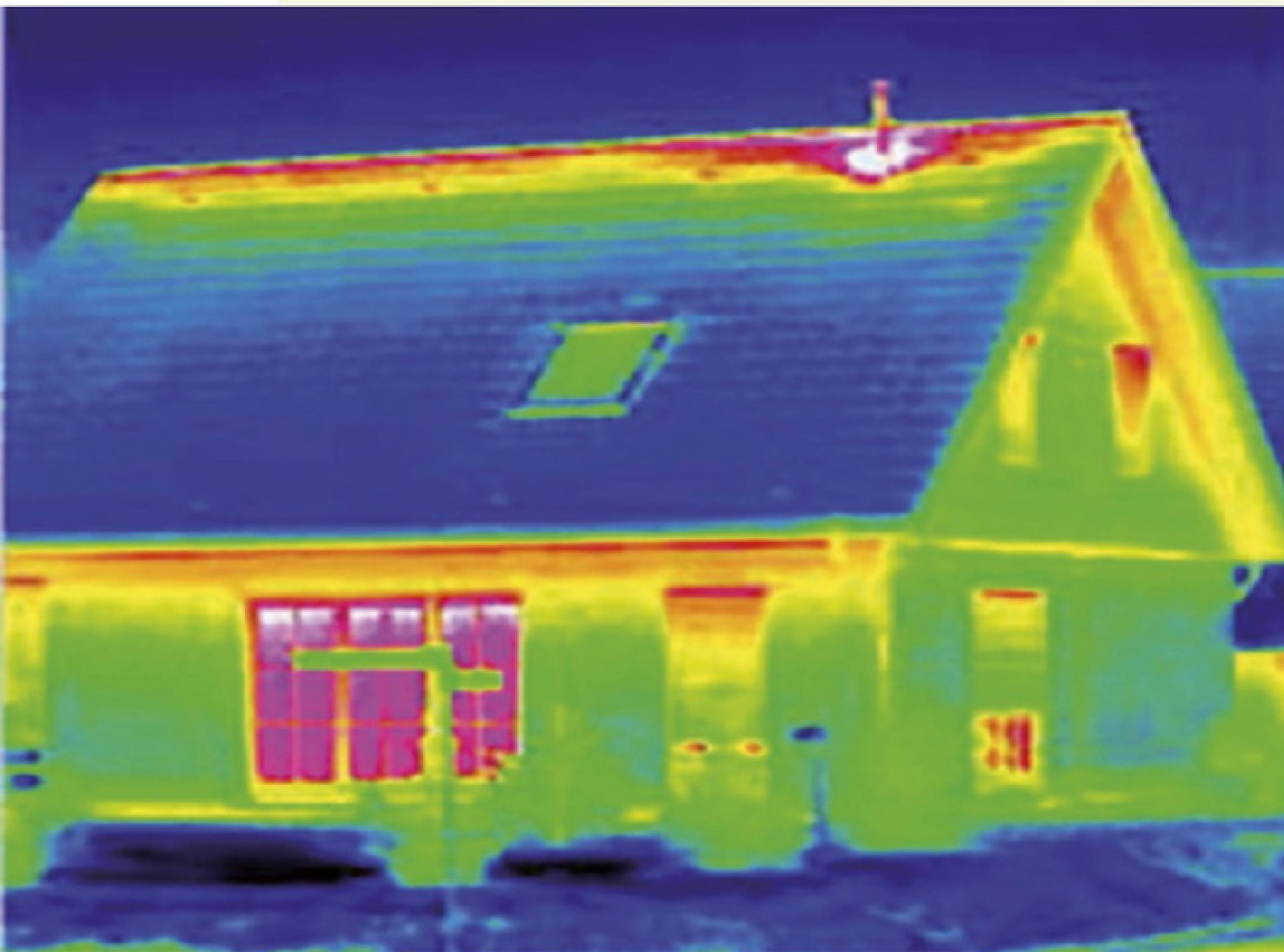
Soms kun je met een gewone thermometer niet dicht bij het voorwerp komen waarvan je de temperatuur wilt meten. Dan kun je een infrarood-thermometer gebruiken (figuur 17). Deze thermometer maakt gebruik van het feit dat elk voorwerp en elk organisme warmtestraling uitzendt. Een ander woord daarvoor is **infrarode straling** (of ir-straling). Je kunt die straling niet zien maar wel voelen, bijvoorbeeld als je een hand voor een hete radiator houdt. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, hoe sterker de ir-straling die het uitzendt. Een infraroodthermometer meet de intensiteit van de ir-straling en zet die om in een temperatuur. Een koortsthermometer die je in je oor moet houden, werkt op deze manier.



◀ **figuur 17**
een infraroodthermometer

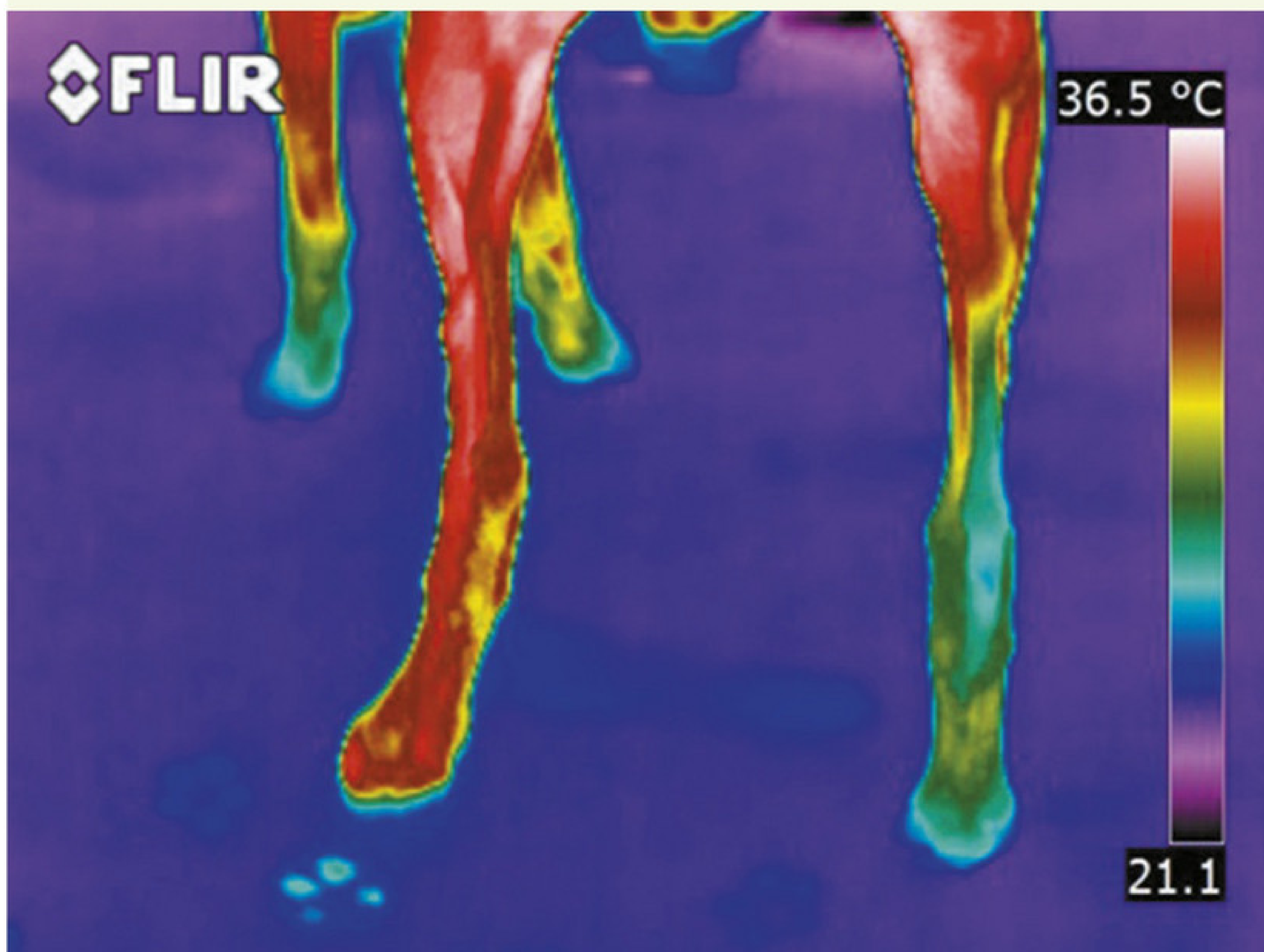
Plus Thermogrammen

Vaak zal een voorwerp niet overal even warm zijn: op de ene plek is de temperatuur hoger dan op de andere. Het kan nuttig zijn om de temperatuurverdeling op een voorwerp (of een mens) in beeld te brengen. Dat kan met een infraroodcamera (figuur 18): een camera die gevoelig is voor infraroodstraling.



▲ **figuur 18**
Met een infraroodcamera kun je warmtelekken in een huis ontdekken.

Een opname met zo'n camera heet een **thermogram**: een foto of video waarop met kleuren de temperatuurverdeling is weergegeven. Een thermogram is een zogenoemd *false color image*. De foto geeft niet de echte kleuren weer, maar een computer heeft de intensiteit van de gemeten infraroodstraling omgezet in kleuren. In een thermogram zijn warme vlakken meestal rood en oranje en koele vlakken groen en blauw. In de legenda bij een thermogram kun je van elke kleur zien met welke temperatuur die overeenkomt.
Thermogrammen worden bijvoorbeeld gebruikt bij het onderzoeken van zieke dieren (figuur 19). Zo kunnen dierenartsen bij een hond zien of een van de poten warmer is dan de andere poten. Een warmere poot kan duiden op een infectie.
Maar je kunt een thermogram ook voor andere dingen gebruiken. Met een thermogram van een gebouw in de winter kun je duidelijk zien op welke plaatsen aan de buitenkant de temperatuur hoog is. Blijkbaar lekt op die plaatsen warmte weg en moet je daar dus isoleren.

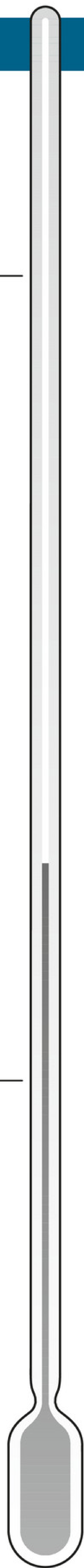


◀ **figuur 19**
Met een infraroodcamera ziet de dierenarts dat de linker achterpoot van de hond warmer is dan de andere poten.

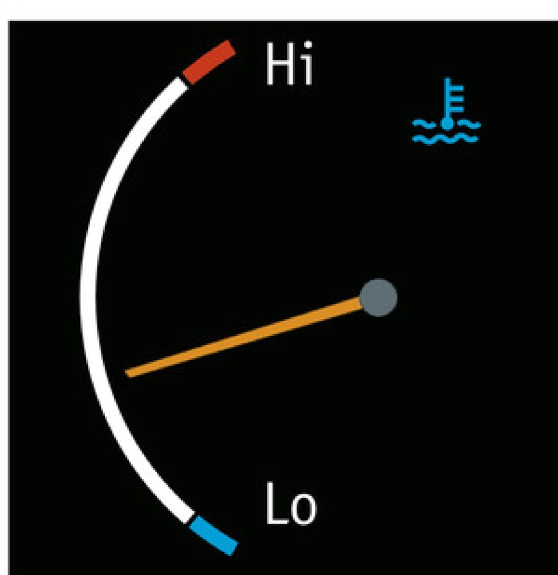
opgaven

15 Er bestaan verschillende soorten thermometers.
- **a** Uit welke drie onderdelen bestaat een vloeistofthermometer?
- **b** Welke twee onderdelen zijn kenmerkend voor een digitale thermometer?
- **c** Wanneer gebruik je een infraroodthermometer?

16 Als je een thermometer hebt gekocht, kun je onderzoeken of deze goed geijkt is.
- **a** Leg uit hoe je een thermometer kunt ijken zonder een andere thermometer te gebruiken.
- **b** Leg uit hoe je een thermometer kunt ijken met behulp van een goed geijkte thermometer.



▲ **figuur 20**
een thermometer zonder schaalverdeling



▲ **figuur 21**
de temperatuurschaal van een auto

***17** Henk heeft op een vloeistofthermometer zonder schaalverdeling het nulpunt en het honderdpunt aangegeven (figuur 20).

- **a** Welke temperatuur geeft de thermometer van figuur 20 aan?
- **b** Vervolgens zet Henk streepjes op de stijgbuis. Hierbij gaat hij ervan uit dat het vloeistofniveau op een 'regelmatige' manier stijgt als de temperatuur toeneemt.
  Leg uit wat Henk daarmee bedoelt.

18 Tussen de graadstrepen van een vloeistofthermometer zit steeds een bepaalde afstand.

- **a** Wat moet een fabrikant van thermometers doen om die afstand groter te maken?
  - A De stijgbuis nauwer maken en het reservoir kleiner.
  - B De stijgbuis nauwer maken en het reservoir groter.
  - C De stijgbuis wijder maken en het reservoir kleiner.
  - D De stijgbuis wijder maken en het reservoir groter.
- **b** Welk voordeel heeft een grotere afstand tussen de graadstrepen?
- **c** En welke nadelen heeft dat?

19 In de tuin hangt een thermometer op een muur waar de zon op schijnt. Leg uit waarom die thermometer een verkeerde temperatuur aangeeft.

20 Automotoren worden gekoeld met een koelvloeistof. Op het dashboard wordt aangegeven hoe hoog de temperatuur van de koelvloeistof in de motor is (figuur 21).

- **a** In hoeveel delen is de temperatuurschaal verdeeld?
- **b** Wat betekenen de aanduidingen 'Hi' en 'Lo'?
- **c** Leg uit waarom deze temperatuurschaal handiger is voor een automobilist dan een schaal in °C.
- **d** Zit de temperatuursensor op het dashboard of onder de motorkap?

***21** Zoek op internet informatie over de temperatuurschaal van Fahrenheit.

- **a** In welke delen van de wereld wordt de temperatuur in het dagelijks leven gemeten in graden Fahrenheit (°F)?
- **b** Neem over en vul in:
  0 °C = … °F
  100 °C = … °F
- **c** Met hoeveel graden op de Fahrenheitschaal komt één graad stijging op de Celsiusschaal overeen?
- **d** Leg uit hoe je een temperatuur kunt omrekenen van °C in °F, en omgekeerd.
- **e** Bij welke temperatuur hebben de Celsiusschaal en de Fahrenheitschaal dezelfde getalswaarde?
- **f** De normale lichaamstemperatuur is 37 °C.
  Hoeveel is dat in °F?

22 Tijdens de Elfstedentocht van 1997 speelde de wind een belangrijke rol, omdat die de rijders en toeschouwers sterk afkoelde. In de krant werd toen een tabel gepubliceerd over het verband tussen de wind en de zogenaamde gevoelstemperatuur (figuur 22).

a Wat wordt bedoeld met 'gevoelstemperatuur'?

b Tijdens de Elfstedentocht in 1997 was het 's morgens vroeg –12 °C bij een windkracht van 5 Beaufort.
Hoe hoog was toen de gevoelstemperatuur voor toeschouwers die in de wind stonden?

c Een van de deelnemers, Klaas, reed vlak voor Stavoren met de wind mee bij een temperatuur van –7 °C. De snelheid van Klaas was even groot als die van de wind: 13,4 m/s.
Hoe hoog was de gevoelstemperatuur voor Klaas?

d Na Stavoren kreeg Klaas de wind tegen. Bovendien veroorzaakte hij ook nog extra tegenwind door zijn eigen snelheid. De lucht stroomde daardoor met een snelheid van 15,6 m/s langs Klaas. De temperatuur van de lucht was nog steeds –7 °C.
Leg uit of de gevoelstemperatuur voor Klaas groot bevriezingsgevaar betekende volgens de tabel.

Windchill

De temperatuur zoals je die voelt, wordt bepaald door het warmteverlies van de huid. Dat warmteverlies is niet alleen afhankelijk van de luchttemperatuur, maar ook van de windsnelheid. Hoe harder de wind waait, hoe sneller je afkoelt en hoe kouder je je voelt. In de tabel is de 'gevoelstemperatuur' af te lezen. Ook is in de tabel aangegeven of er een groot gevaar voor bevriezing van de blote huid bestaat.

'Windchill'-factor

De gevoelstemperatuur bij verschillende windsnelheden en het risico voor bevriezing van de blote huid.

windsnelheid in...		**luchttemperatuur in °C**							
Beaufort	m/sec	**+10**	**+5**	**–1**	**–7**	**–12**	**–18**	**–23**	**–29**
0 stil	0,1	10	5	–1	–7	–12	–18	–23	–29
2 lichte bries	2,5	9	3	–3	–9	–15	–21	–26	–32
3 zachte bries	4,5	5	–2	–9	–16	–23	–30	–36	–43
4 matige bries	6,7	2	–6	–14	–21	–29	–36	–43	–50
4 matige bries	8,9	0	–8	–16	–24	–32	–40	–47	–55
5 stevige wind	11,2	–1	–9	–18	–26	–34	–42	–51	–59
6 krachtige wind	13,4	–2	–11	–19	–28	–36	–44	–53	–61
6 krachtige wind	15,6	–3	–12	–20	–29	–37	–45	–54	–63
7 matige storm	17,9	–3	–12	–21	–30	–38	–46	–55	–64
risico voor bevriezing		**klein**				**groot**			**zeer groot**

▲ **figuur 22**
een tabel waarin je de gevoelstemperatuur kunt aflezen

23 Tegenwoordig wordt de temperatuur steeds vaker met digitale thermometers gemeten.

a Wat is de functie van de sensor in deze thermometers?
b Noem twee voordelen van een thermometer met een sensor boven een vloeistofthermometer.
c Noem een nadeel van een thermometer met een sensor ten opzichte van een vloeistofthermometer.



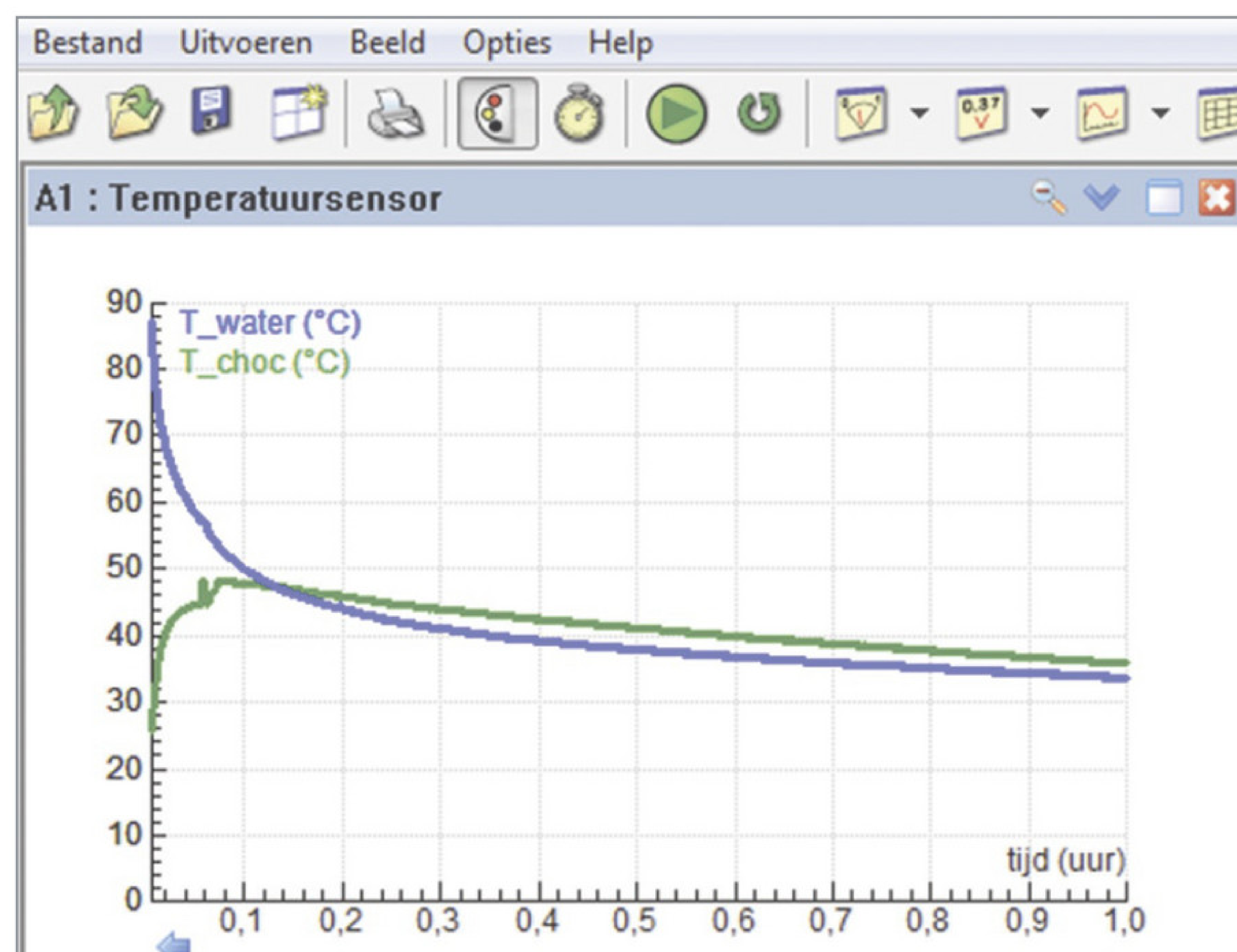
▲ **figuur 23**
een oorthermometer

24 Met de oorthermometer kun je onderzoeken of iemand koorts heeft (figuur 23).

a Op welke manier wordt de temperatuur met een oorthermometer gemeten?
b Waarom is in dit geval 'meten op afstand' handiger dan 'meten met direct contact'?
c Leg uit of een oorthermometer een groot of een klein meetbereik heeft.

25 Jessica heeft onderzocht wat er gebeurt als je een pakje chocolademelk opwarmt in een bekerglas met heet water. Daarbij heeft ze twee sensoren gebruikt: de ene sensor in de chocolademelk, de andere sensor in het water. Ze heeft het pakje chocolademelk in het hete water gezet en meteen daarna de meting gestart. Jessica heeft de sensoren aangesloten op een datalogger, een kleine meetcomputer, die regelmatig de gemeten temperatuur opslaat. In figuur 24 zie je hoe de datalogger het temperatuurverloop vanaf dat moment weergeeft.

a Waarom is het bij deze proef handig om de temperatuur automatisch te meten met een datalogger?
b Hoe lang heeft de proef geduurd (vanaf het begin van de metingen)?
c Welke temperatuur had het water toen de proef begon?
d Welke temperatuur had de chocolademelk toen de proef begon?
e Welke temperatuur bereikte de chocolademelk op zijn hoogst?
f Na hoeveel minuten werd die hoogste temperatuur bereikt?
g Wat valt je op aan het temperatuurverloop na circa acht minuten? Probeer hiervoor een verklaring te geven (zelf bedenken).



▶ **figuur 24**
Jessica's meetresultaten

Plus Thermogrammen

26 In figuur 25 zie je een opname van het gezicht van een man.
- **a** Hoe heet de camera waarmee deze foto is gemaakt?
- **b** Hoe heet de straling die de camera gebruikt bij het maken van een opname?
- **c** Wat stellen de kleuren in de foto voor?
- **d** Welke conclusie kun je trekken over het glas in zijn bril?
- **e** Wat valt je op aan de temperatuursverdeling in het gezicht van de man?

27 Zoek op internet twee thermogrammen, print ze uit en plak ze in je schrift. Leg uit wat er in de thermogrammen te zien is en waarom dat nuttige informatie kan zijn.

28 Militairen gebruiken ook infraroodcamera's, maar ze noemen die meestal nachtzichtkijkers.
- **a** Voor welk doel gebruiken militairen nachtzichtkijkers?
- **b** Leg uit wat nachtzichtkijkers met ir-straling te maken hebben.
- **c** Zou je met nachtzichtkijkers ook bomen kunnen zien?



▲ **figuur 25**
thermogram van het gezicht van een man

3 Veranderen van fase

's Winters zijn bomen en struiken na een koude nacht soms opeens bedekt met een dikke laag rijp. Als de dooi invalt, wordt het ijs waar je gisteren nog op schaatste, snel onbetrouwbaar. In al deze situaties heb je te maken met water dat van fase verandert.

Fase-overgangen

Als water smelt of bevriest, noem je dat een **fase-overgang**: de stof gaat over van de ene fase in de andere. Er zijn zes fase-overgangen (figuur 26):
- **stollen/bevriezen**: van vloeibaar naar vast
- **smelten**: van vast naar vloeibaar
- **verdampen**: van vloeibaar naar gasvormig
- **condenseren**: van gasvormig naar vloeibaar
- **rijpen**: van gasvormig naar vast
- **vervluchtigen**: van vast naar gasvormig

De overgang van vloeibaar naar vast heet stollen. Alleen bij water gebruik je het woord bevriezen.



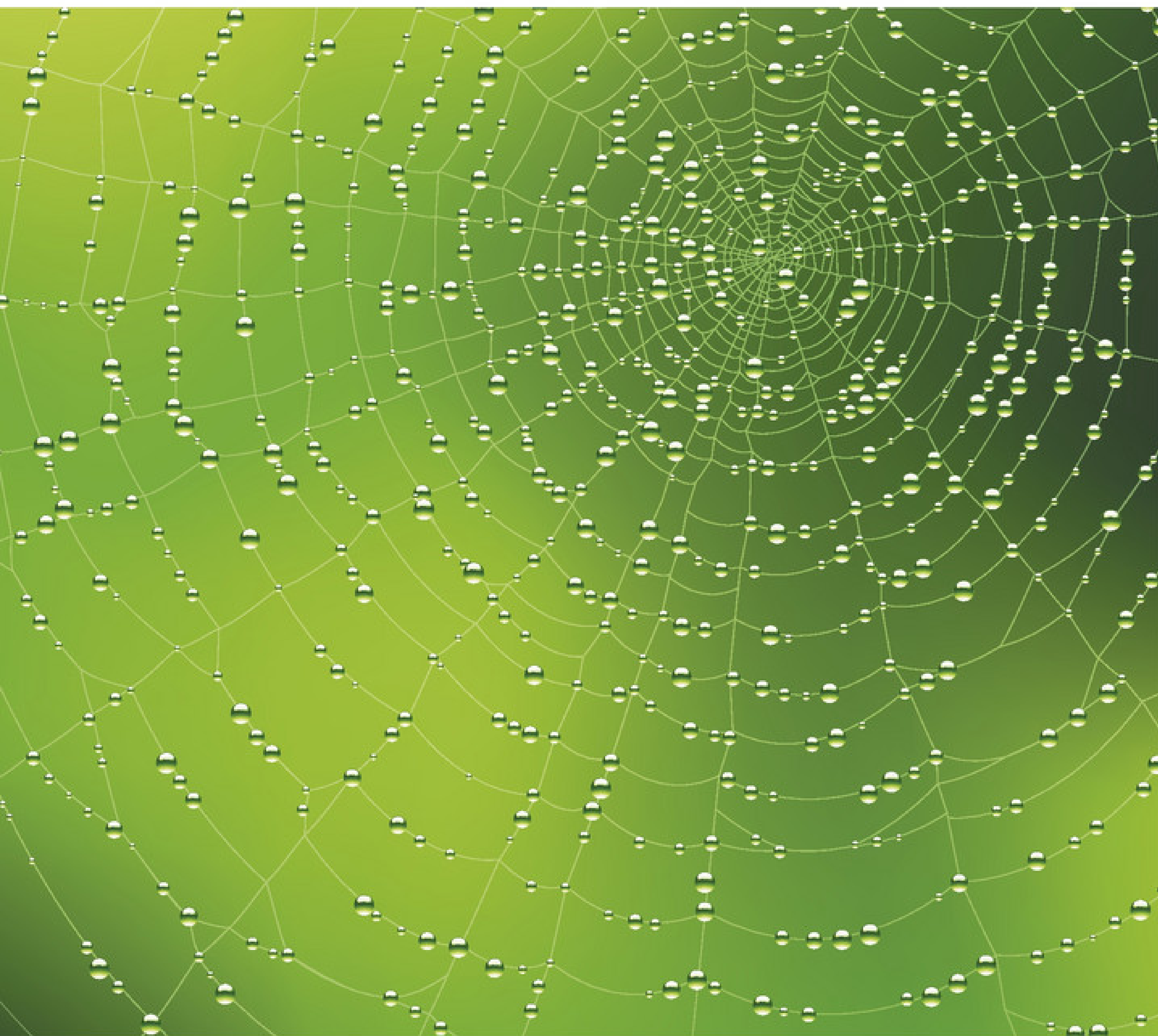
▶ **figuur 26**
schema van de zes fase-overgangen

Fase-overgangen en het weer

De fase-overgangen van water spelen een belangrijke rol bij allerlei weersverschijnselen.

Bevriezen
Als het vriest, verschijnt er een laag ijs op sloten en plassen. Het bovenste laagje water bevriest: van vloeibaar wordt het vast. Als het blijft vriezen, groeit het ijslaagje van onderaf steeds verder aan.

Smelten
Als het gaat dooien, smelt de ijslaag snel weg. Boomtakken die pas nog wit waren van de rijp, worden nu weer kaal, terwijl de waterdruppels naar beneden vallen. Vast ijs wordt vloeibaar water.



▲ **figuur 27**
Dauw bestaat uit kleine waterdruppels.

Verdampen
Als na een regenbui de zon schijnt, zijn de straten weer droog. Plassen water worden steeds kleiner en verdwijnen tenslotte helemaal. Dat komt doordat het regenwater bij warm weer snel verdampt: zichtbaar water wordt onzichtbare waterdamp. Het water verdampt ook als de zon niet schijnt, maar dan veel langzamer.

Condenseren
Koude lucht kan minder waterdamp bevatten dan warme lucht. Als warme lucht 's nachts afkoelt, condenseert de waterdamp die erin zit tot kleine waterdruppels (figuur 27). Zo wordt onzichtbare waterdamp zichtbaar water.

Rijpen
Als de temperatuur 's nachts daalt tot onder 0 °C, ontstaat er geen dauw, maar rijp. De waterdamp in de lucht gaat over in kleine ijskristallen die boomtakken en grassprieten een wit uiterlijk geven.

Vervluchtigen
Als de lucht erg koud en droog is, wordt een laag sneeuw geleidelijk dunner. Dat komt doordat ijs dan zonder eerst te smelten langzaam verandert in waterdamp.

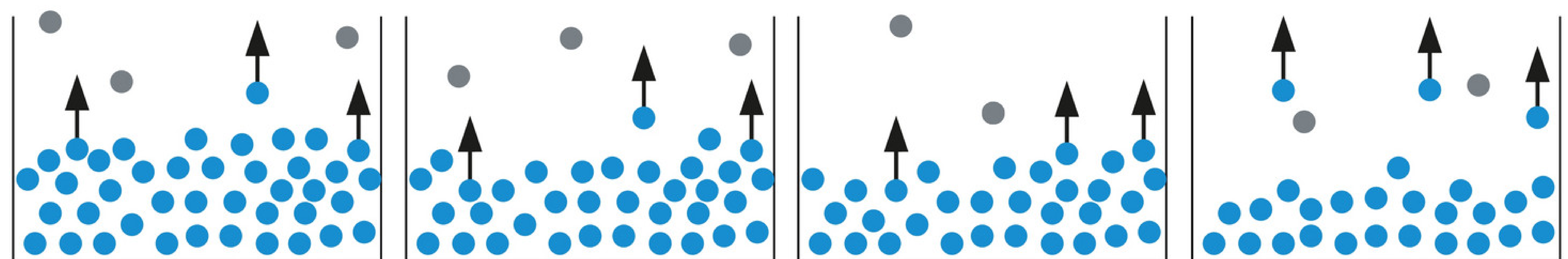
Fase-overgangen en het deeltjesmodel Proef 2

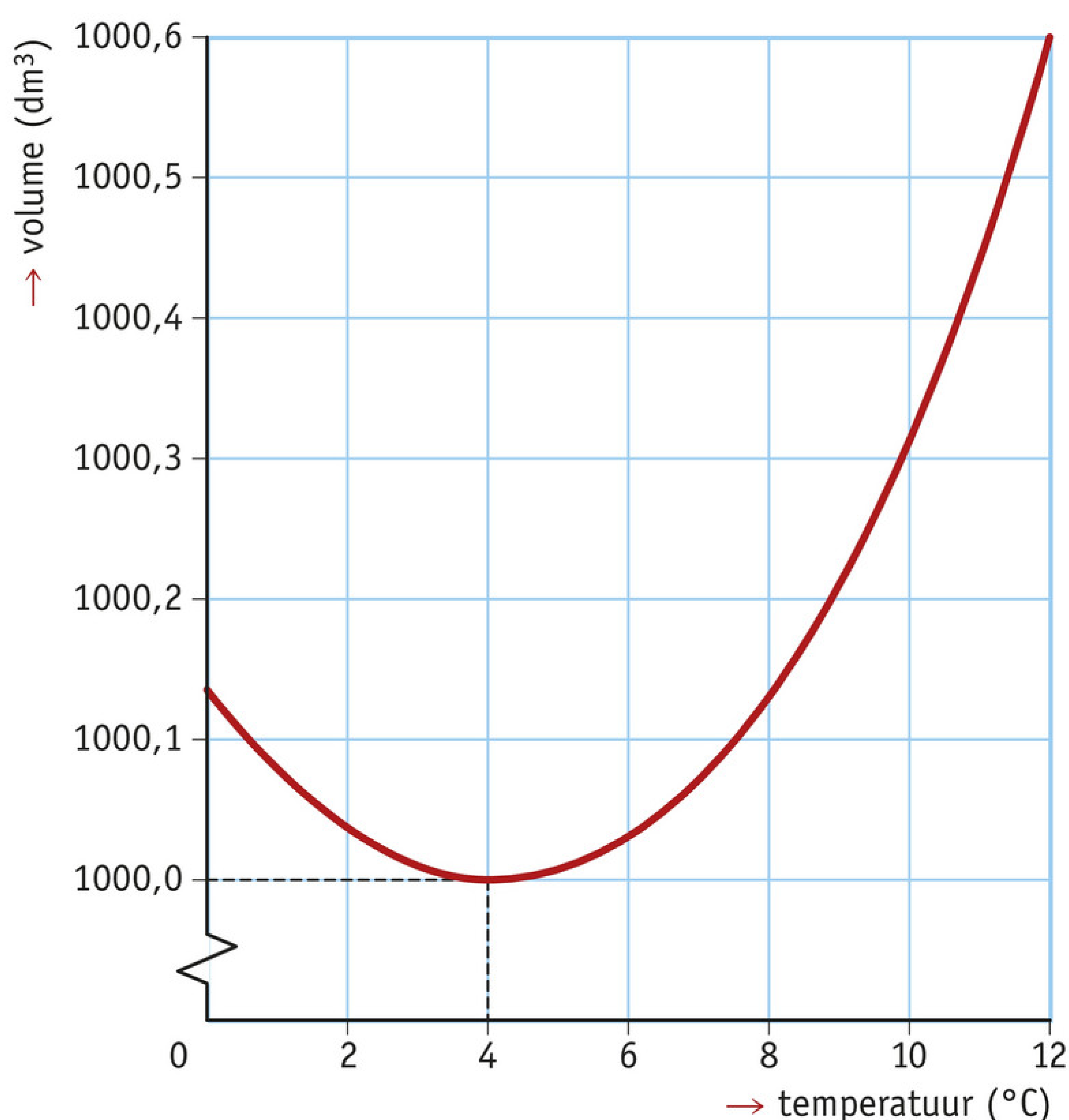
Met het deeltjesmodel kun je verklaren wat er bij een fase-overgang gebeurt. Niet alle moleculen hebben in een bepaalde fase dezelfde snelheid, maar je kunt wel een gemiddelde snelheid bepalen. Als de temperatuur stijgt, neemt die gemiddelde snelheid toe.

Smelten volgens het deeltjesmodel
In een vaste stof zijn de moleculen dicht op elkaar gestapeld in een regelmatig patroon. Tussen moleculen die aan elkaar grenzen, bestaan aantrekkende krachten. Die zorgen ervoor dat elk molecuul op zijn vaste plaats blijft. Hoe kleiner de afstand tussen twee aangrenzende moleculen, des te groter de onderlinge aantrekkingskracht.
Als de temperatuur stijgt, gaan de moleculen steeds heviger trillen. De afstand tussen de moleculen wordt dan groter. Je merkt dat doordat de stof uitzet. Door de grotere afstand trekken de moleculen elkaar minder sterk aan. Als de temperatuur is gestegen tot een bepaalde waarde, is de aantrekkingskracht te klein om de moleculen op hun vaste plaats te houden: de stof smelt en wordt vloeibaar.

Verdampen volgens het deeltjesmodel
In een vloeistof zijn de moleculen steeds in beweging. Hun onderlinge aantrekkingskracht zorgt ervoor dat ze dicht bij elkaar in de buurt blijven. Aan het vloeistofoppervlak kan een molecuul snel genoeg zijn om uit de vloeistof te ontsnappen, ondanks de aantrekkende krachten van de andere moleculen (figuur 28). Zo'n ontsnapt molecuul gaat dan deel uitmaken van de damp boven de vloeistof. Zo raakt de vloeistof steeds meer moleculen kwijt: de vloeistof verdampt.
Hoe hoger de temperatuur, des te groter de gemiddelde snelheid van de moleculen en des te gemakkelijker ze uit de vloeistof kunnen ontsnappen. Vloeistoffen verdampen daardoor sneller bij hogere temperaturen.

▼ **figuur 28**
Verdampen is het ontsnappen van moleculen uit een vloeistof.



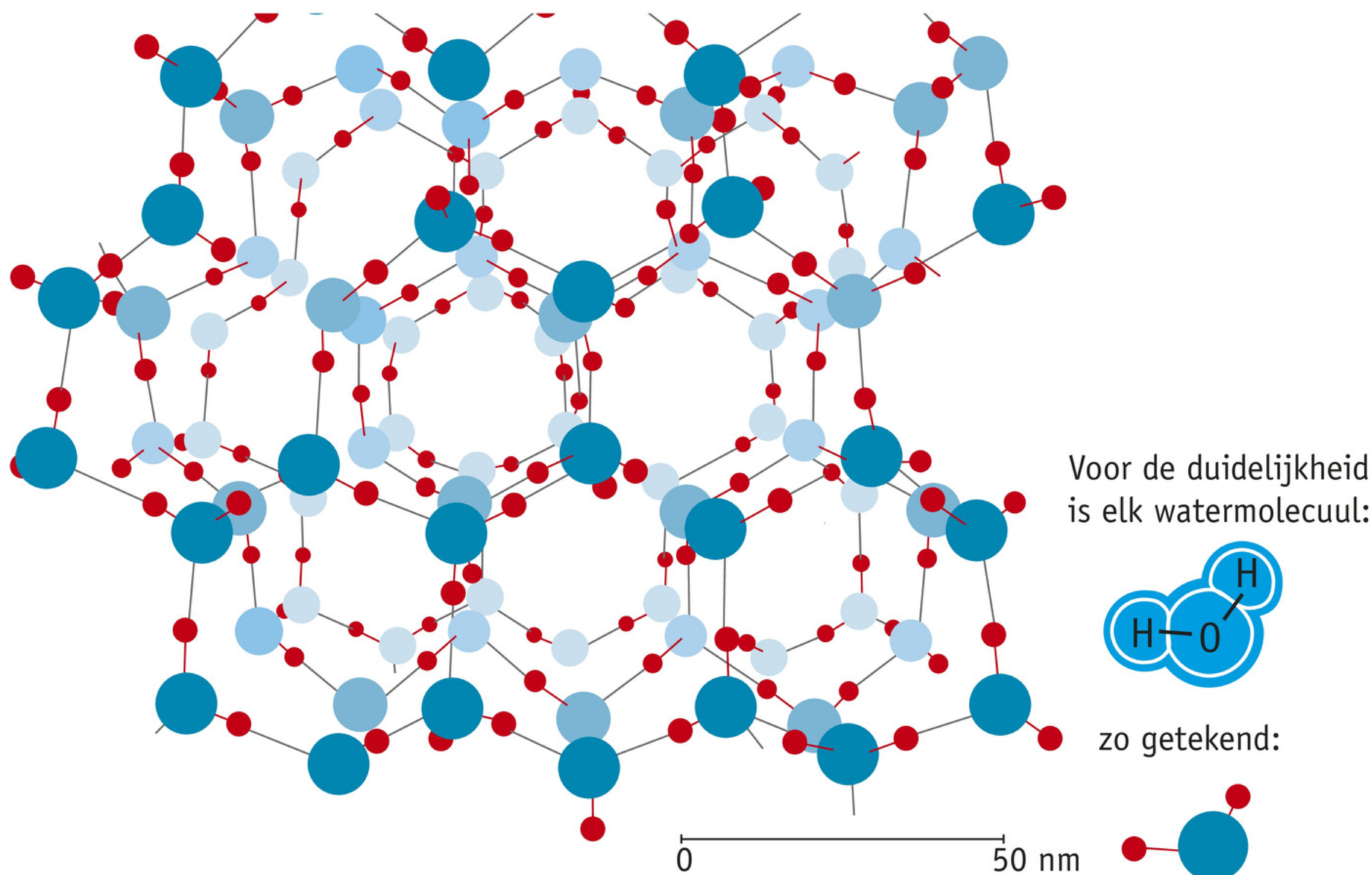


Water: een uitzondering
Bijna alle vloeistoffen krimpen als de temperatuur daalt. Doordat de moleculen minder snel bewegen, botsen ze minder hevig en duwen elkaar minder ver opzij. De stof krimpt. Er is een belangrijke uitzondering: water tussen 4 °C en 0 °C. Als water afkoelt, krimpt het net als andere vloeistoffen tot de temperatuur 4 °C is. Maar als water nog verder afkoelt, van 4 °C naar 0 °C, gaat het juist weer uitzetten (figuur 29).

Als het water daarna bevriest, zet het nog verder uit: als 1 dm^3 water van 0 °C bevriest, ontstaat er ongeveer 1,1 dm^3 ijs. Het volume neemt tijdens het bevriezen dus toe met ongeveer 10%.

◀ **figuur 29**
het krimpen en uitzetten van water

Dat water uitzet bij bevriezing heeft te maken met de bijzondere kristalstructuur van ijs. De moleculen vormen de al genoemde zeshoeken met daarbinnen veel lege ruimte (figuur 30). Daardoor is de gemiddelde afstand tussen de moleculen in ijs groter dan in water. Het vormen van zeshoeken begint al wanneer de temperatuur daalt onder 4 °C (al ontstaat er dan nog geen permanent kristalrooster). Daardoor bereikt water zijn grootste dichtheid bij 4 °C.



◀ **figuur 30**
IJs heeft een bijzondere kristalstructuur, met veel lege ruimte tussen de moleculen.

Plus Koolstofdioxide

Als er in een film ‘mist’ of ‘rook’ nodig is, dan worden er rookmachines gebruikt (figuur 31). Ook in disco’s en bij popconcerten kom je die machines tegen.



De naam ‘rookmachine’ klopt eigenlijk niet, want deze machines maken geen rook. In veel rookmachines wordt droogijs gebruikt. Droogijs of koolzuursneeuw is **koolstofdioxide** (CO_2) in vaste vorm. Dit smelt niet maar vervluchtigt al bij –78 °C, dus dat gebeurt zeker bij kamertemperatuur. Een ventilator blaast dan het zeer koude CO_2-gas de ruimte in. Waar dat gas komt, koelt de lucht sterk af, waardoor de waterdamp in de lucht condenseert. Wat je ziet is dus geen rook, geen CO_2-gas, maar heel kleine waterdruppeltjes. Je ziet dus eigenlijk mist.

◀ **figuur 31**
een rookmachine



Een andere toepassing van droogijs is het blussen van branden (figuur 32). Droogijs wordt ook gebruikt als koelmiddel in laboratoria, als men stoffen wil onderzoeken bij lage temperaturen.

Koolstofdioxide speelt een belangrijke rol in de discussie over de opwarming van de aarde (broeikasgas). Het is het gas dat planten en bomen nodig hebben om te functioneren en dat in frisdrank wordt gestopt voor de 'prik'.

◀ **figuur 32**
een brandje blussen met een koolzuursneeuwblusser

opgaven

29 Welke fase-overgang is er de oorzaak van dat:
- **a** het gras 's ochtends vroeg nat is van de dauw?
- **b** een straat na een regenbui snel weer opdroogt?
- **c** de takken van bomen en struiken met rijp zijn bedekt?
- **d** een sneeuwlaag bij strenge vorst steeds dunner wordt?

30 Als je een ijsblokje in je hand houdt, smelt het ijs.
Beschrijf wat er dan met de moleculen gebeurt.

31 Met welke fase-overgang heb je te maken als:
- **a** je kleren na een regenbui in de wind opdrogen?
- **b** de ruiten van het lokaal op een koude dag beslaan?
- **c** je ijsblokjes maakt in het vriesvak van de koelkast?
- **d** je het vriesvak van de koelkast laat ontdooien?
- **e** een koud glas cola aan de buitenkant beslaat?
- **f** wasgoed 's winters aan de waslijn 'droogvriest'?
- **g** er op diepgevroren producten ijskristallen ontstaan?

32 Op koude dagen zie je een 'wolkje' voor je mond bij het uitademen.
- **a** Hoe heet de fase-overgang waarbij dat 'wolkje' ontstaat?
- **b** Waarom zie je geen 'wolkjes' op een zomerse dag?

33 Mist ontstaat vaak in de nacht en verdwijnt in de ochtend.
- **a** Om welke fase-overgang gaat het bij het ontstaan van mist?
- **b** Om welke fase-overgang gaat het bij het verdwijnen van mist?
- **c** Waarom ontstaat mist vooral in de nacht?
- **d** Waarom verdwijnt mist vaak in de ochtend?

34 Het diagram in figuur 29 gaat over de dichtheid van water.
- **a** Welke vloeistof heeft een grotere dichtheid: water van 0 °C of water van 2 °C? Leg uit hoe je dat kunt concluderen uit de grafiek.
- **b** Er is nog een temperatuur waarbij water een even grote dichtheid heeft als bij 0 °C. Bij welke temperatuur is dat het geval?

35 Als 's winters de waterleiding bevriest, kan er een scheurtje in de leiding ontstaan.
- **a** Leg uit waardoor dat komt.
- **b** Leg uit waarom je meestal pas merkt dat de leiding kapot is als het gaat dooien.

***36** Als water verdampt, wordt het volume ongeveer 1000 keer zo groot.
- **a** Verklaar met het deeltjesmodel hoe het komt dat het volume veel groter wordt.
- **b** Hoeveel keer verder liggen de moleculen uit elkaar bij waterdamp dan bij water? Let op: het antwoord is niet 1000.

***37** Als je een beetje ether (een vloeistof) op een horlogeglas doet, verdampt het snel. Alleen de heel snelle ethermoleculen kunnen uit de vloeistof ontsnappen.
- **a** Hoe komt het dat langzamere moleculen niet uit de vloeistof weg kunnen komen?
- **b** Hoe verandert de gemiddelde snelheid van de moleculen die in de ether achterblijven?
- **c** Hoe verandert daardoor de temperatuur van de achterblijvende ether?

Plus Koolstofdioxide

38 Rook ontstaat als je iets verbrandt.
- **a** Noem twee redenen waarom het maar goed is dat rookmachines geen echte rook maken.
- **b** Een rookmachine maakt ook geen 'stoom' (hete waterdamp waarin kleine waterdruppeltjes zweven). Noem twee redenen waarom het gebruik van stoom niet verstandig zou zijn op een filmset of in een disco.

39 Als je met een CO_2-brandblusser schudt, hoor je een vloeistof klotsen. In zo'n brandblusser zit vloeibaar CO_2 met CO_2-damp erboven.
- **a** Welke fase-overgang vindt er in de brandblusser plaats als je met de brandblusser spuit?
- **b** Als de CO_2-damp uit de brandblusser spuit, koelt die zo sterk af dat er koolzuursneeuw ontstaat. Hoe heet die fase-overgang?
- **c** Die koolzuursneeuw is heel snel weer verdwenen. Hoe heet die fase-overgang?

***40** Koolstofdioxide heeft een grotere dichtheid dan lucht.
Waarom is dat gunstig als je een brand blust met een koolzuursneeuw-blusser?

41 Zoek op internet op uit welke atomen een molecuul koolstofdioxide is opgebouwd.

4 Kookpunt en smeltpunt



▲ figuur 33
Als water kookt, zie je overal in de vloeistof dampbellen ontstaan.

Van het water dat bij een regenbui naar beneden valt, is al gauw niets meer te zien. Een deel wordt afgevoerd via het riool, een deel zakt in de bodem weg en een deel verdampt. Dat verdampen gaat heel onopvallend. Je ziet helemaal niets, behalve dat de hoeveelheid water langzaam afneemt. Maar water kan ook op een opvallender manier verdampen ...

Kookpunt Proef 3 en 4

Als je een bekerglas met water verwarmt boven een brander, ontstaan er na een poosje kleine luchtbelletjes. Dat is de lucht die opgelost zit in het water. Een paar minuten later verschijnen er waterdampbellen in het water. De temperatuur is dan bijna 100 °C. Deze bellen ontstaan op de bodem, stijgen op, koelen af en worden in elkaar gedrukt voordat ze het wateroppervlak bereiken. Het geluid dat je daarbij hoort wordt het 'zingen' van het water genoemd.

Als de temperatuur overal in de vloeistof 100 °C is, bereiken de dampbellen wel het wateroppervlak. Ze barsten daar uit elkaar, zodat de waterdamp mengt met de lucht erboven. Dat is **koken**: het water verdampt nu niet alleen aan het wateroppervlak, maar overal in de vloeistof (figuur 33).
Als je doorgaat met verwarmen, blijft het water koken tot het helemaal verdampt is. De temperatuur van het water blijft daarbij steeds 100 °C. Deze temperatuur noem je het **kookpunt** van water. Bijna elke zuivere stof heeft een eigen, kenmerkend kookpunt. Het kookpunt is een belangrijke stofeigenschap.



▲ figuur 34
een ijsblokje 1 minuut, 5 minuten en 15 minuten nadat het uit het vriesvak is gehaald

Smeltpunt en vriespunt

In de winter moet het water eerst dalen tot 0 °C voordat het kan bevriezen. De temperatuur van het water blijft 0 °C totdat het volledig is bevroren.
Als het flink vriest, is de temperatuur van het ijs ook lager dan 0 °C. Dan moet de temperatuur van het ijs stijgen tot 0 °C voordat het zal smelten (figuur 34).

Smeltend ijs heeft dus dezelfde temperatuur als bevriezend water: 0 °C. Je noemt deze temperatuur het **smeltpunt** van ijs en het **vriespunt** van water. Bijna elke zuivere stof heeft een eigen kenmerkend smeltpunt en stolpunt. Bij water heet het stolpunt vriespunt. In tabel 1 zie je de smelt- en kookpunten van een aantal stoffen.

▼ **tabel 1** smelt- en kookpunt van enkele stoffen

stof	smeltpunt (°C)	kookpunt (°C)
aceton	−95	56
alcohol	−114	78
aluminium	660	2467
butaan	−138	−0,5
glycerol	20	290
goud	1064	2860
ijzer	1559	2800
lood	328	1740
propaan	−188	−42
stikstof	−210	−196
water	0	100
zuurstof	−219	−183

Het vriespunt verlagen Proef 5

Je kunt het vriespunt van water verlagen door een geschikte stof aan het water toe te voegen. Dat gebeurt bijvoorbeeld met het koelwater in een automotor. Daaraan wordt antivries toegevoegd om te voorkomen dat het koelwater 's winters bevriest. Hoe meer antivries je toevoegt, des te lager wordt het vriespunt van het mengsel.

Zout heeft hetzelfde effect op het vriespunt als antivries. Een mengsel van ijs en zout heeft een lager smeltpunt dan zuiver ijs. Door zout te strooien, kun je sneeuw of ijzel laten smelten bij temperaturen onder nul. In de praktijk is wegenzout effectief bij temperaturen tot −8 °C (figuur 35).

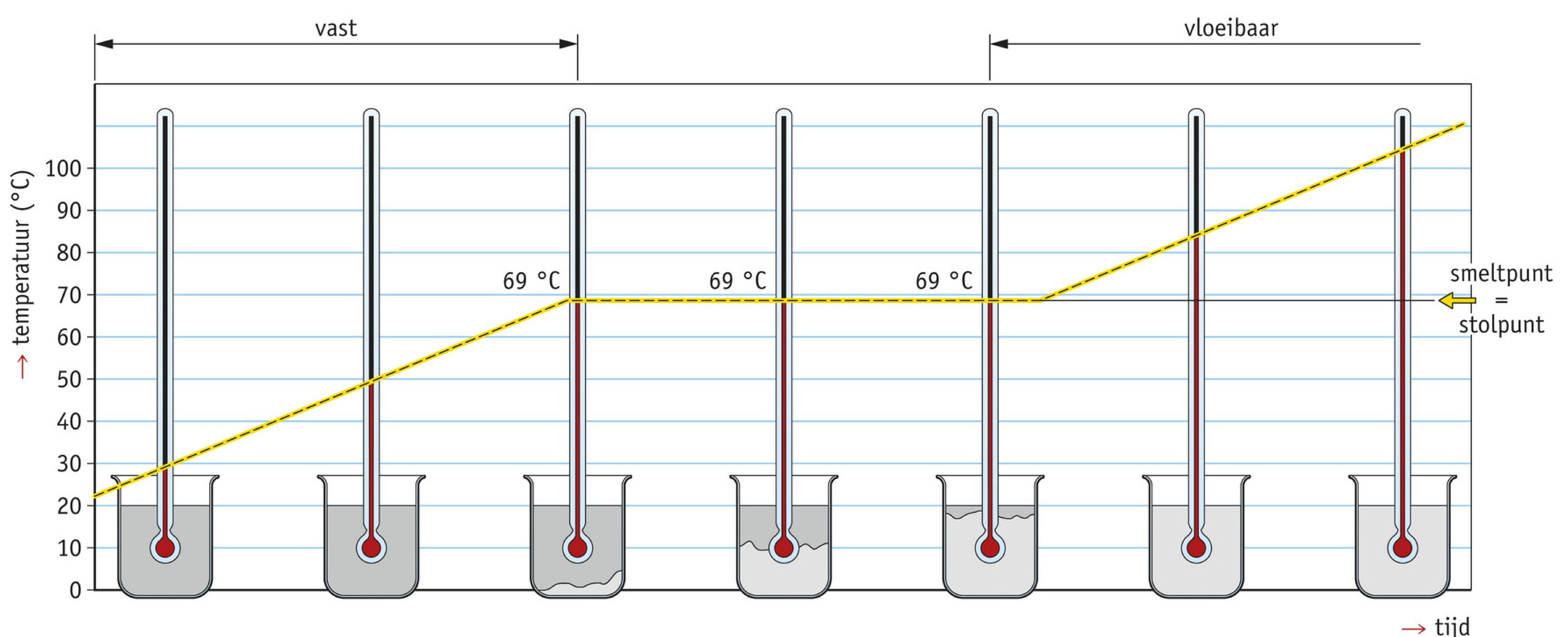


▶ **figuur 35**
Strooizout zorgt ervoor dat de sneeuw op het wegdek smelt.

Smelt- en stoldiagrammen

In figuur 36 is getekend hoe je het smeltpunt van een vaste stof bepaalt. Je verwarmt de stof voorzichtig en ondertussen meet je de temperatuur met regelmatige tussenpozen. In figuur 36 is dat gedaan met stearinezuur. Dat is een stof die onder andere gebruikt wordt om kaarsen van te maken.

Als je vast stearinezuur verwarmt, stijgt de temperatuur eerst tot 69 °C: het smeltpunt van stearinezuur. Bij die temperatuur gaat het stearinezuur smelten. Als je doorgaat met verwarmen, blijft de temperatuur 69 °C totdat alle stearinezuur is gesmolten. Pas daarna stijgt de temperatuur weer. In figuur 36 is het temperatuurverloop weergegeven in een **smeltdiagram**: een grafiek van de temperatuur tegen de tijd.



▲ **figuur 36**
het smeltdiagram van stearinezuur

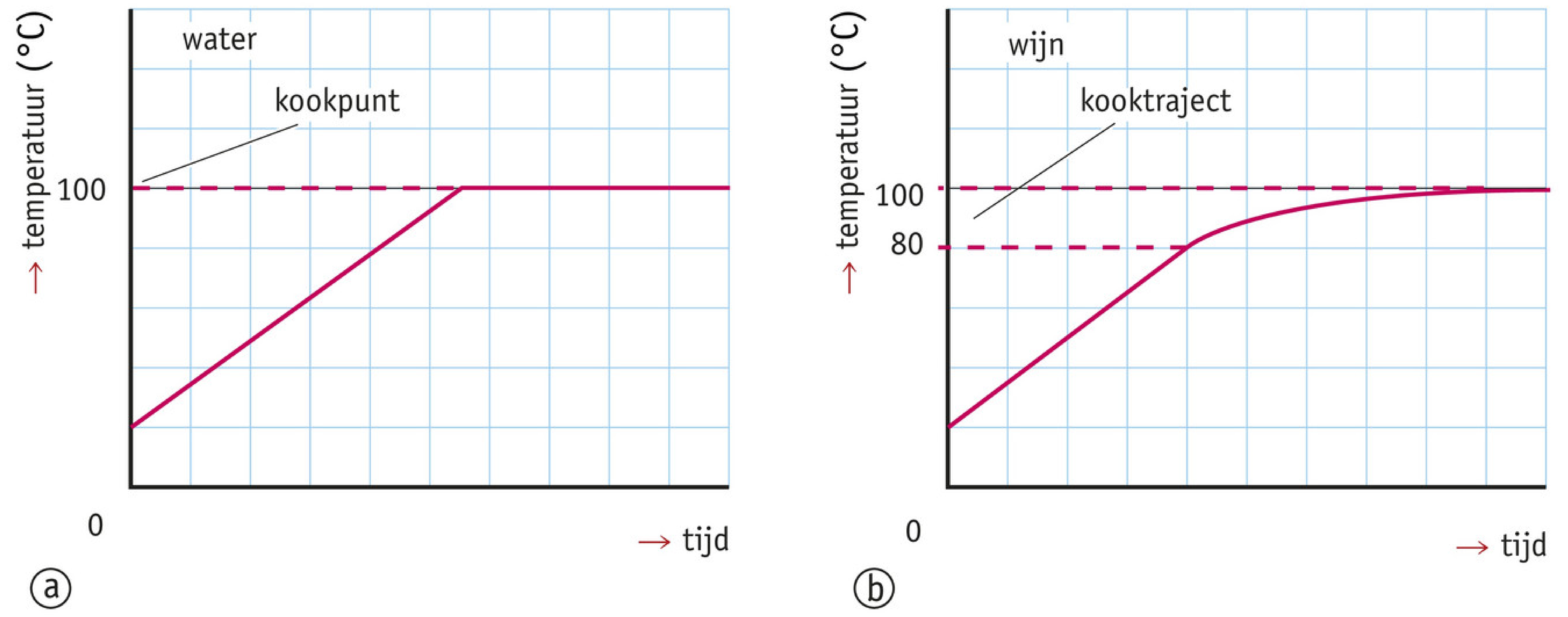
Als je vloeibaar stearinezuur laat afkoelen, daalt de temperatuur weer tot 69 °C: het stolpunt van stearinezuur. De temperatuur blijft 69 °C totdat het stearinezuur volledig is gestold. Daarna daalt de temperatuur verder. Je kunt het temperatuurverloop weergeven in een **stoldiagram**, waarin de temperatuur is uitgezet tegen de tijd.

Het kooktraject van een mengsel

Wijn is een mengsel van voornamelijk water en alcohol. De hoeveelheid van de overige stoffen is verwaarloosbaar. Een fles wijn bevat ongeveer 12 volumeprocent (12 vol.%) alcohol. Dat betekent dat 100 mL wijn bestaat uit circa 12 mL alcohol en 88 mL water.

Als je wijn aan de kook brengt, zie je dat het koken begint bij ongeveer 80 °C. Daarna loopt de temperatuur langzaam op tot 100 °C (figuur 37b). Wijn heeft dus geen kookpunt, zoals zuiver water (100 °C) of zuivere alcohol (78 °C). Tijdens het koken blijft de temperatuur van de wijn dus niet constant.

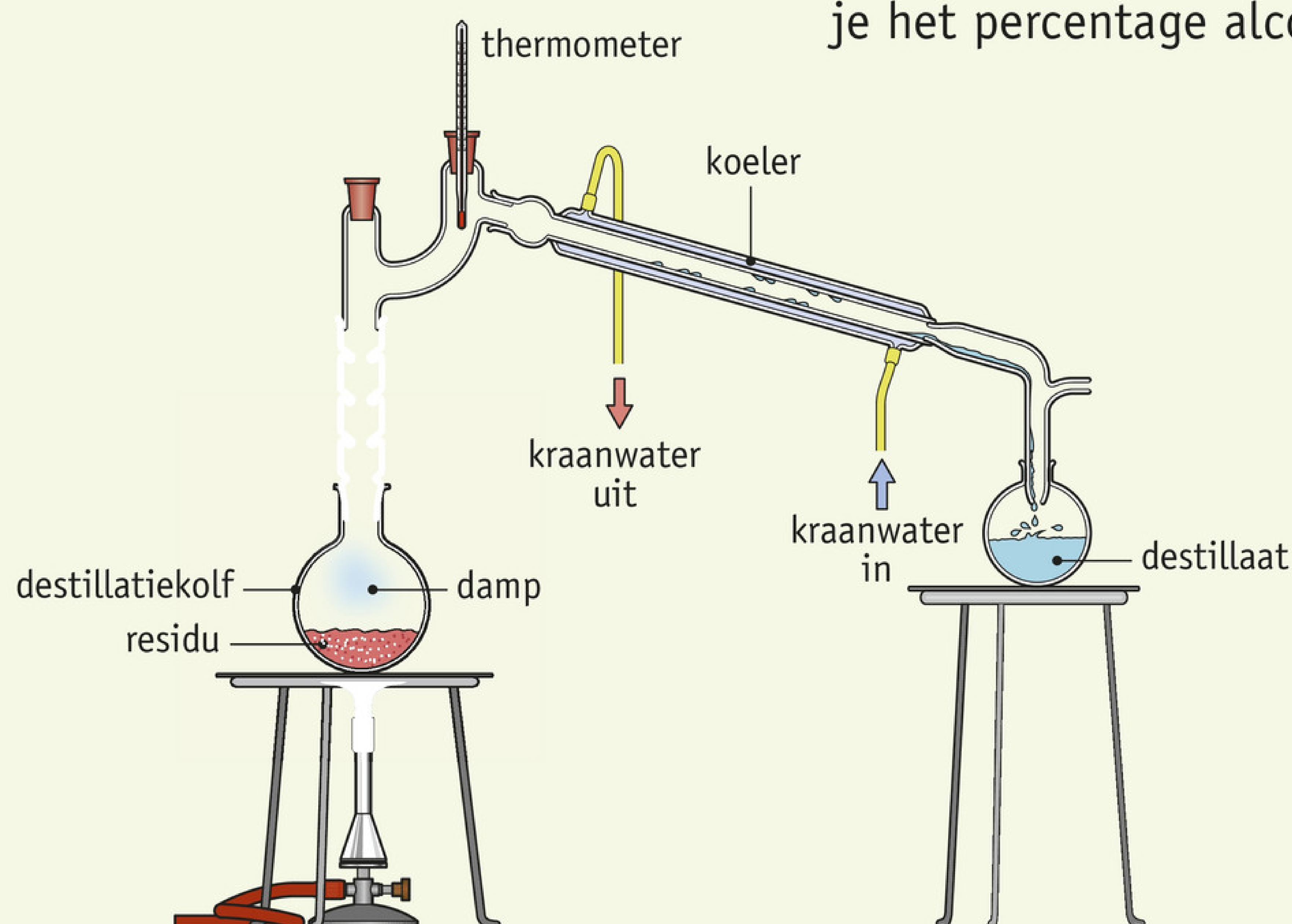
Wat voor wijn geldt, geldt ook voor andere mengsels van vloeistoffen. Zulke mengsels hebben geen kookpunt, maar een kooktraject. Het **kooktraject** van wijn loopt van 80 tot 100 °C.



figuur 37
Water heeft een kookpunt (a), wijn een kooktraject (b).

Plus Destilleren

Wijn heeft een kooktraject. De damp van wijn bij 80 °C zal relatief veel alcohol en weinig water bevatten. Als je die damp opvangt en laat condenseren, heb je een sterkere alcohol gekregen. Daarvoor gebruik je een destillatie-opstelling (figuur 38). Die bestaat onder andere uit een kolf waarin de wijn zit. De wijn in de kolf wordt verwarmd. De dampen stijgen op in een glazen buis waarin inkepingen zitten. Bij die inkepingen is de temperatuur relatief laag en condenseert de opstijgende waterdamp beter dan de alcoholdamp. Er vloeit daardoor langs de wand relatief veel water terug naar de kolf. Het percentage alcohol in de damp stijgt daardoor. Daarna stroomt de damp door een buis die gekoeld wordt met water. De damp condenseert en vloeit in de onderste kolf. Die vloeistof heet het **destillaat**. De vloeistof die uiteindelijk achterblijft in de eerste kolf, heet het **residu**. Door het proces met het destillaat te herhalen, kun je het percentage alcohol steeds verder verhogen.



figuur 38
een destillatietoestel

opgaven

42 Noteer de woorden die ingevuld moeten worden:
- **a** Smeltend ijs heeft een temperatuur van ... Deze temperatuur heet het ... van water of het ... van ijs.
- **b** Een mengsel van ijs en zout heeft een ... smeltpunt dan zuiver ijs.
- **c** Alcohol heeft een kookpunt dat ... ligt dan dat van water.

43 Vergelijk het koken van een ketel water en het verdampen van een plas water met elkaar.
- **a** Hoe verandert het water in deze twee situaties van fase?
- **b** Leg voor beide situaties uit *waar* de fase-overgang plaatsvindt.
- **c** Waaraan kun je zien dat water kookt en niet 'gewoon' verdampt?

44 Natasja wil onderzoeken wat er gebeurt als je water verwarmt. Ze gebruikt bij haar proef een brander.
Wat moet Natasja controleren voordat ze de brander aansteekt?
Zie vaardigheid 6 achter in het boek.

45 Jeroen is rijst aan het koken. Als het water begint te koken, draait hij het gas lager. Het water kookt dan zachtjes verder.
- **a** Hoe hoog is de temperatuur van het kokende water?
- **b** Leg uit of het langer duurt voor de rijst gaar is als hij het gas lager draait.
- **c** Waarom is het verstandig om het gas lager te draaien?

46 Pieter verwarmt een vloeistof en meet de temperatuur (tabel 2).
- **a** Teken een grafiek van Pieters waarnemingen, waarin je de temperatuur uitzet tegen de tijd. Zie vaardigheid 13 achter in het boek.
- **b** Bij welke temperatuur ligt het kookpunt van de vloeistof?
- **c** Om welke vloeistof zou het kunnen gaan?

▼ **tabel 2** de meetresultaten van Pieter

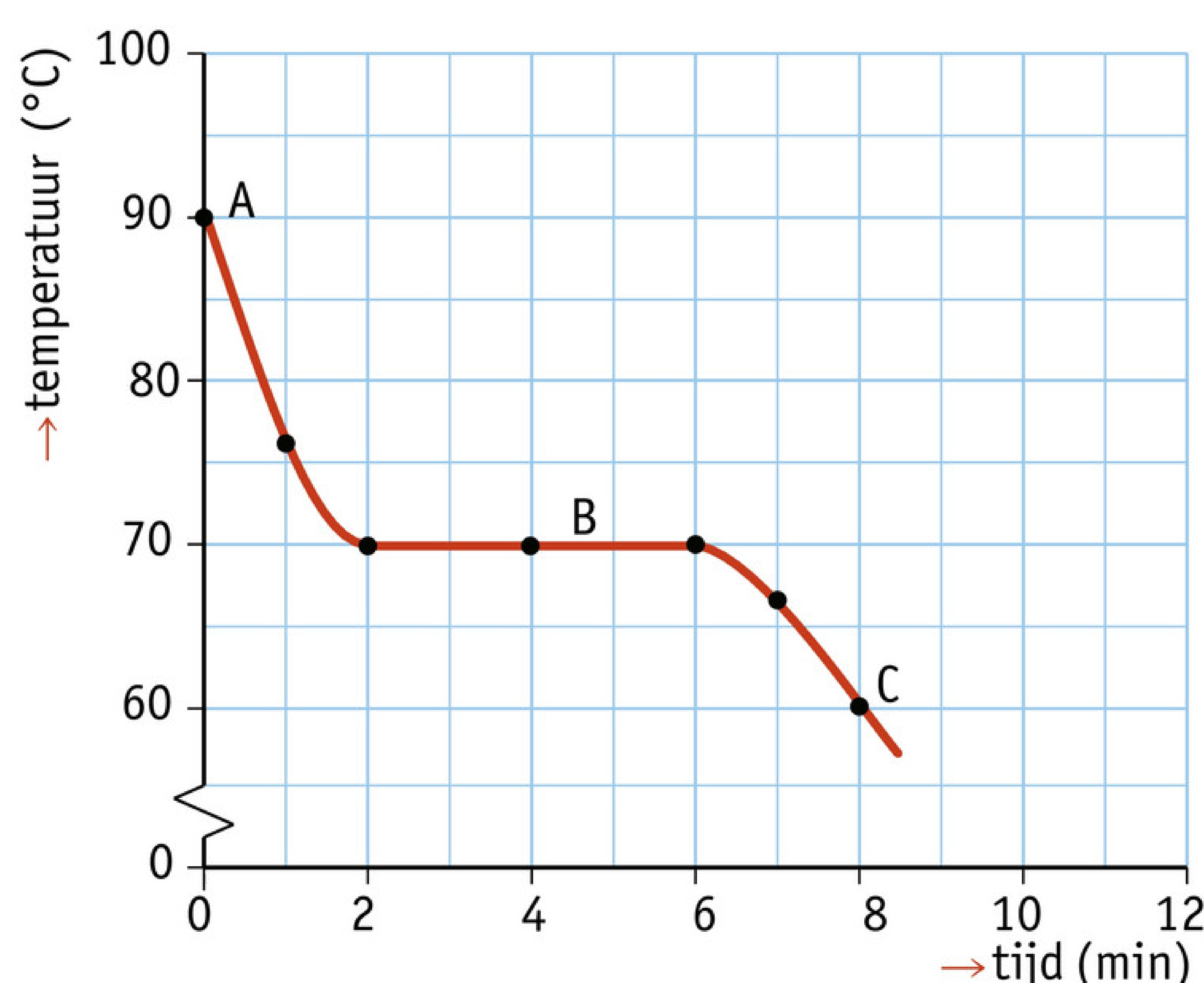
tijd (min)	temperatuur (°C)
0	20
0,5	33
1,0	46
1,5	58
2,0	68
2,5	75
3,0	77
3,5	78
4,0	78
4,5	78

47 Zoek op internet informatie over het metaal gallium.
- **a** Hoe ziet het metaal gallium eruit bij kamertemperatuur?
- **b** Hoe hoog zijn het smeltpunt en kookpunt van dit metaal?
- **c** Wat is er bijzonder aan het smeltpunt en kookpunt van gallium? Tip: vergelijk de gevonden waarden met het smeltpunt en kookpunt van andere metalen.
- **d** In feestwinkels kun je theelepeltjes van gallium kopen. Wat gebeurt er als je met zo'n lepeltje in je warme thee roert? Tip: kijk ook eens op YouTube.

48 In de winter wordt er soms zout gestrooid op een bevroren wegdek. Het ijslaagje smelt dan.
Is de temperatuur van het smeltwater dan hoger dan, lager dan of gelijk aan 0 °C? Licht je antwoord toe.

49 Allette heeft een hoeveelheid stearinezuur gesmolten. Ze laat de stearine vervolgens langzaam afkoelen, terwijl ze om de minuut de temperatuur meet. Na de proef maakt ze een grafiek van haar waarnemingen (figuur 39).

a Hoe noem je het soort grafiek dat Allette gemaakt heeft?
b In welke fase is de stearine bij A?
c In welke fase is de stearine bij C?
d Gedurende welk gedeelte van de proef is er zowel vloeibare als vaste stearine aanwezig?
e Bij welke temperatuur ligt het stolpunt van de stearine?



▶ **figuur 39**
de grafiek van Allette

50 Joost beweert: “Door de antivries kan de motor van onze auto nooit kapot vriezen.”

a Leg uit wat Joost precies bedoelt. Gebruik het woord ‘vriespunt’ in je uitleg.
b Leg uit waarom het niet waar is wat Joost zegt.

▼ **tabel 3** de meetresultaten van Orhan

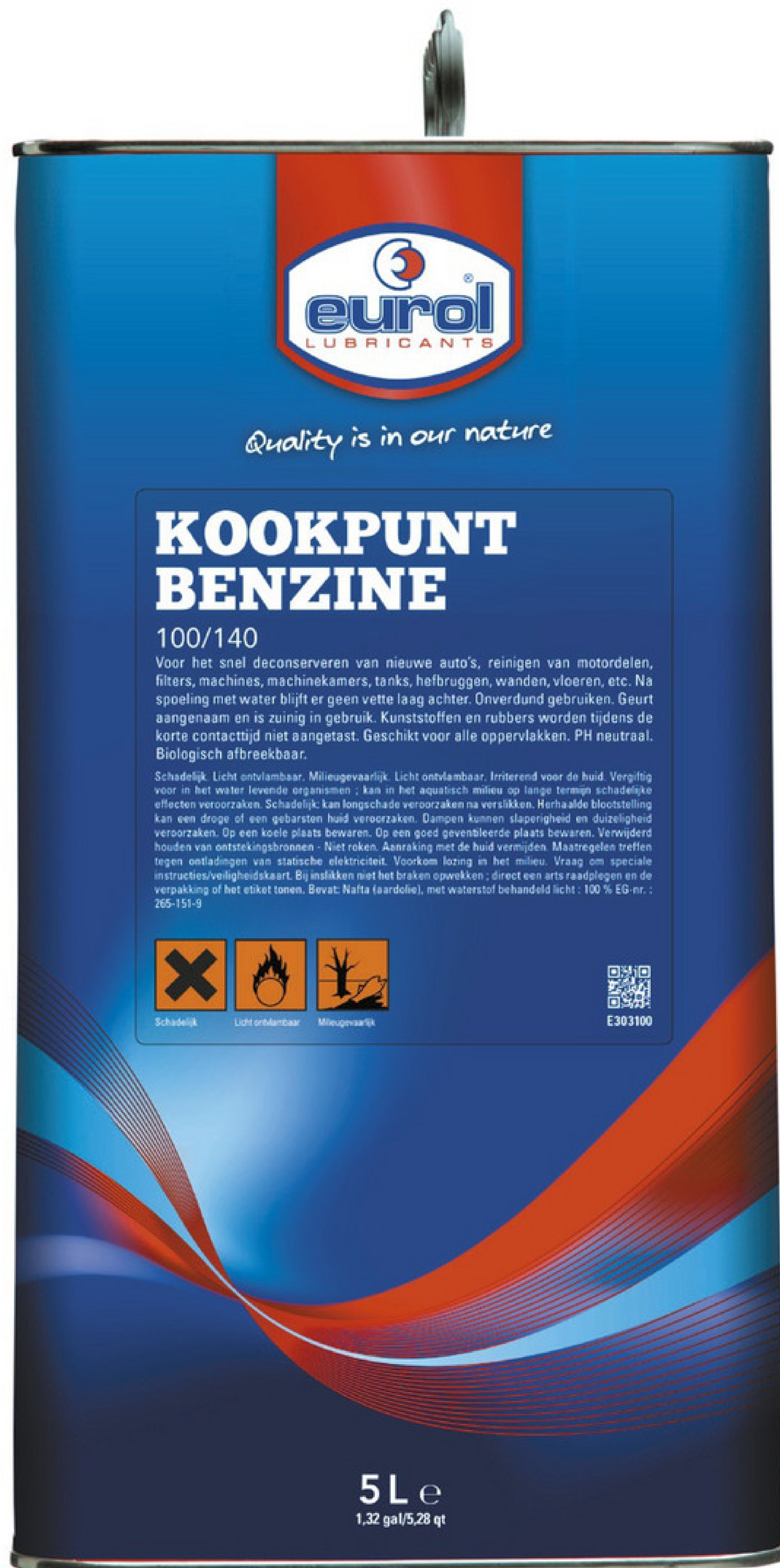
tijd (min)	temperatuur (°C)
0	20
1	31
2	40
3	43
4	46
5	49
6	51
7	54
8	57
9	60
10	71
11	83

51 Orhan smelt een hoeveelheid bijenwas in een reageerbuis. Ondertussen meet hij de temperatuur. In tabel 3 zie je zijn meetresultaten.

a Teken het smeltdiagram van deze proef.
b Na hoeveel minuten begint de bijenwas te smelten?
c Hoe hoog is dan de temperatuur?
d Na hoeveel minuten is alle bijenwas gesmolten?
e Hoe hoog is dan de temperatuur?
f Is bijenwas een zuivere stof of een mengsel? Waaraan zie je dat?

***52** Bij een demonstratieproef wordt vloeibaar stikstof uit een dewarvat (een soort thermosfles) in een bekerglas geschonken.

a Hoe komt het dat de stikstof meteen ‘uit zichzelf’ begint te koken?
b Welke temperatuur heeft de kokende stikstof in het bekerglas?
c Waaruit bestaat de witte nevel die rond het bekerglas ontstaat?
d Op het bekerglas ontstaat ijsaanslag. Leg uit hoe dat komt.



▲ **figuur 40**
een blik wasbenzine

***53** Op een blik wasbenzine (figuur 40) staat: 100/140. Deze getallen geven het kooktraject van de wasbenzine aan (in °C). Het meten van die temperaturen mag alleen onder strenge veiligheidsmaatregelen. Dat mag je thuis dus nooit doen.

- **a** Wat is er merkwaardig aan het etiket op het blik in figuur 40?
- **b** Als je wasbenzine verwarmt, begint de benzine na enkele minuten te koken. Wat zal een thermometer aangeven die je op dat moment in de benzine houdt?
- **c** Wat zal de thermometer aangeven als de helft van de benzine is verdampt?
- **d** Wat zal de thermometer aangeven als bijna alle benzine is verdampt?
- **e** Het bepalen van het kooktraject van wasbenzine is niet moeilijk. Toch mag deze proef niet op school worden uitgevoerd. Bedenk daarvoor twee redenen.

Plus Destilleren

54 Teken een destillatie-opstelling en noteer er kort bij wat er gebeurt bij het destilleren van wijn.

55 Alcoholhoudende dranken met meer dan 15 vol.% alcohol worden gedestilleerde dranken genoemd.

- **a** Verklaar deze naam.
- **b** Hoe komt het dat je met destilleren nooit zuivere alcohol kunt maken?

***56** Waarom laat men het koelwater bij het destilleren van onder naar boven stromen en niet van boven naar onder?

Practicum

Proef 1 Een vloeistofthermometer ijken 30 min

Inleiding
Een vloeistofthermometer heeft een reservoir en een stijgbuis, met daarlangs een schaalverdeling in graden Celsius (°C), waarop je de temperatuur afleest.

Doel
Bij deze proef ga je een thermometer van zo'n schaalverdeling voorzien.

Nodig
- crêpetape
- bekerglas
- stukjes ijs
- thermometer zonder schaalverdeling
- gewone thermometer
- brander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker

Uitvoeren en uitwerken
Het nulpunt bepalen
- Plak een smal strookje crêpetape vlak naast de stijgbuis.
- Doe de stukjes ijs in het bekerglas. Zet vervolgens de thermometer erin. Het reservoir moet aan alle kanten omringd zijn met ijsblokjes (figuur 41).
- Wacht twee minuten. Zet dan op het crêpetape een potloodstreepje op de plaats waar de alcohol staat.
- Haal de thermometer uit het ijs en schrijf het cijfer 0 bij het streepje.

Het honderdpunt bepalen
- Vul het bekerglas voor een derde met water. Breng het water met behulp van de brander aan de kook.
- Zet de thermometer in het bekerglas. Laat de thermometer een minuut in het kokende water staan. Zet dan een potloodstreepje op het crêpetape op de plaats waar de vloeistof staat.
- Haal de thermometer uit het water. Doe de brander uit. Schrijf het cijfer 100 bij het streepje dat je net hebt gezet.

IJken en meten
- Verdeel de ruimte tussen 0 en 100 met behulp van streepjes in tien gelijke delen. Zet bij die streepjes de getallen 10 tot en met 90.
- Meet de temperatuur in het lokaal met de thermometer waarvoor je een schaalverdeling hebt gemaakt. Probeer de temperatuur tot op één graad nauwkeurig te bepalen. Meet daarna de temperatuur in het lokaal nog eens, maar nu met een gewone thermometer.

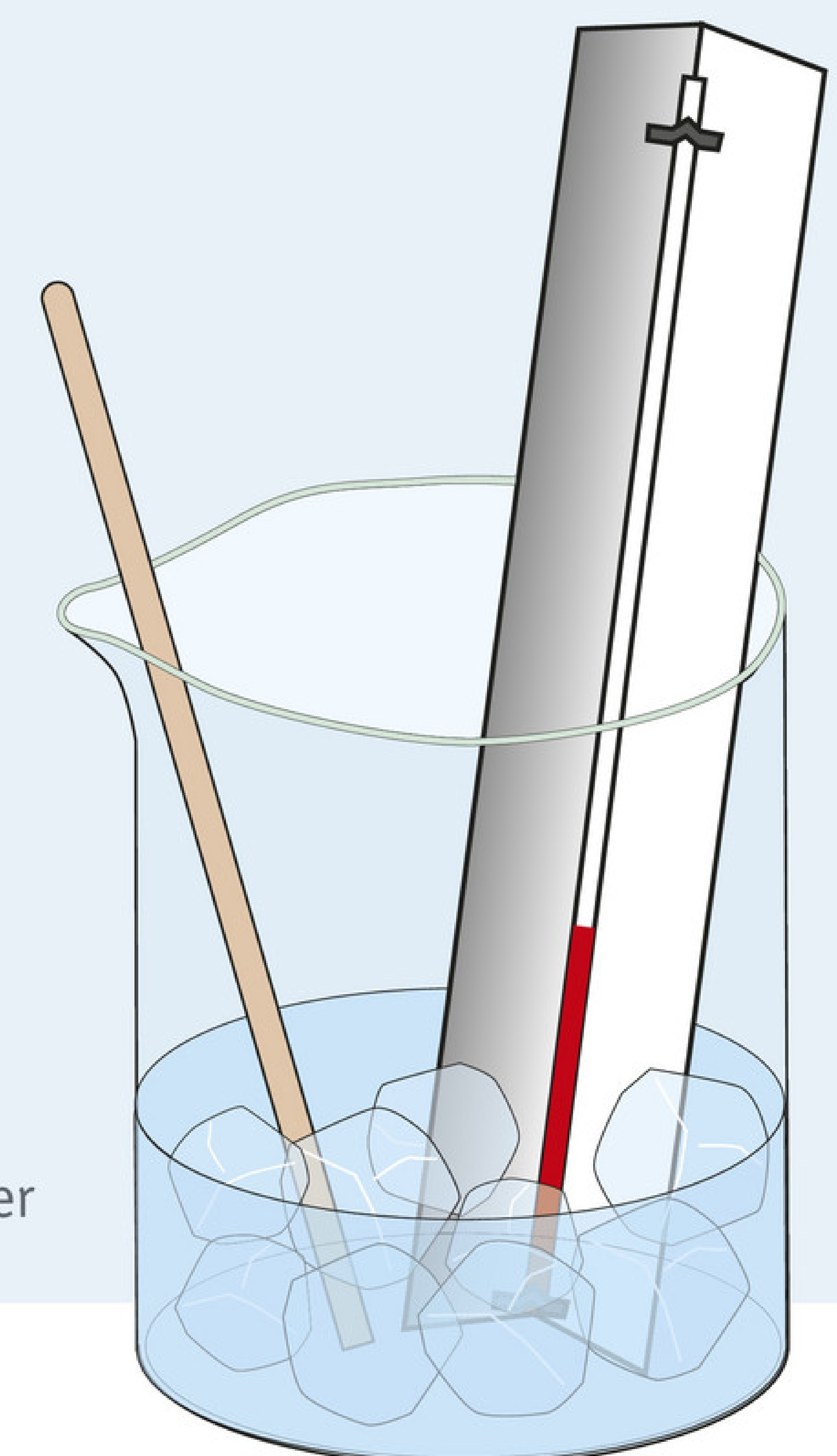
1 Welke temperatuur geeft elke thermometer aan?

- Meet op dezelfde manier met beide thermometers de temperatuur van kraanwater, meteen nadat het uit de kraan komt.

2 Welke temperatuur geeft elke thermometer aan?

- Meet ook met beide thermometers de temperatuur van je lichaam. Houd het reservoir elke keer 30 seconden onder je oksel, voor je de temperatuur afleest.

3 Welke temperatuur geeft elke thermometer aan?
4 Kun je met de thermometer waarvoor je een schaalverdeling gemaakt hebt, redelijk nauwkeurig de temperatuur meten?



▶ **figuur 41**
de thermometer in ijswater

Proef 2 Verdamping en de gevoelstemperatuur 15 min

Inleiding
Als je 's zomers uit het zwembad stapt, merk je dat de wind invloed heeft op de temperatuur die jij voelt. Als het windstil is, voelt het warmer aan dan als het flink waait. Dat komt doordat het water op je huid door de wind sneller verdampt.

Doel
Je gaat bij deze proef onderzoeken welke invloed verdamping heeft op de gevoelstemperatuur. Onder gevoelstemperatuur verstaan we hier de temperatuur zoals jij die ervaart.

Nodig
- druppelflesje met water
- druppelflesje met ethanol
- druppelflesje met nagellakoplosser

Uitvoering en verwerking
- Doe een druppel water op de bovenkant van je onderarm.
- Blaas tot de druppel is verdampt.
- Doe een even grote druppel ethanol op je arm.
- Blaas tot de druppel is verdampt.
- Doe een even grote druppel nagellakoplosser op je arm.
- Blaas tot de druppel is verdampt.

1 Wat voelde je tijdens het verdampen?
2 Welke vloeistof verdampt het snelst?
3 Welke vloeistof voelde het koudst aan?
4 Welk verband is er tussen het verdampen van vloeistoffen en de gevoelstemperatuur?

Proef 3 Water koken 30 min

Inleiding
Als je een stof verwarmt, stijgt de temperatuur van die stof. Dat zie je bijvoorbeeld als je water aan de kook brengt voor een kop thee.

Doel
Bij deze proef ga je zelf onderzoeken hoe de temperatuur verandert.
De onderzoeksvraag luidt:
Hoe verandert de temperatuur van water als je het water aan de kook brengt?

Nodig
- bekerglas
- thermometer
- horloge/stopwatch
- brander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker
- werkblad 3-1

Uitvoeren en uitwerken
Werkverdeling
Deze proef doe je in tweetallen:
- Leerling 1 leest de temperatuur af op de thermometer.
- Leerling 2 houdt de tijd bij en noteert de meetresultaten.

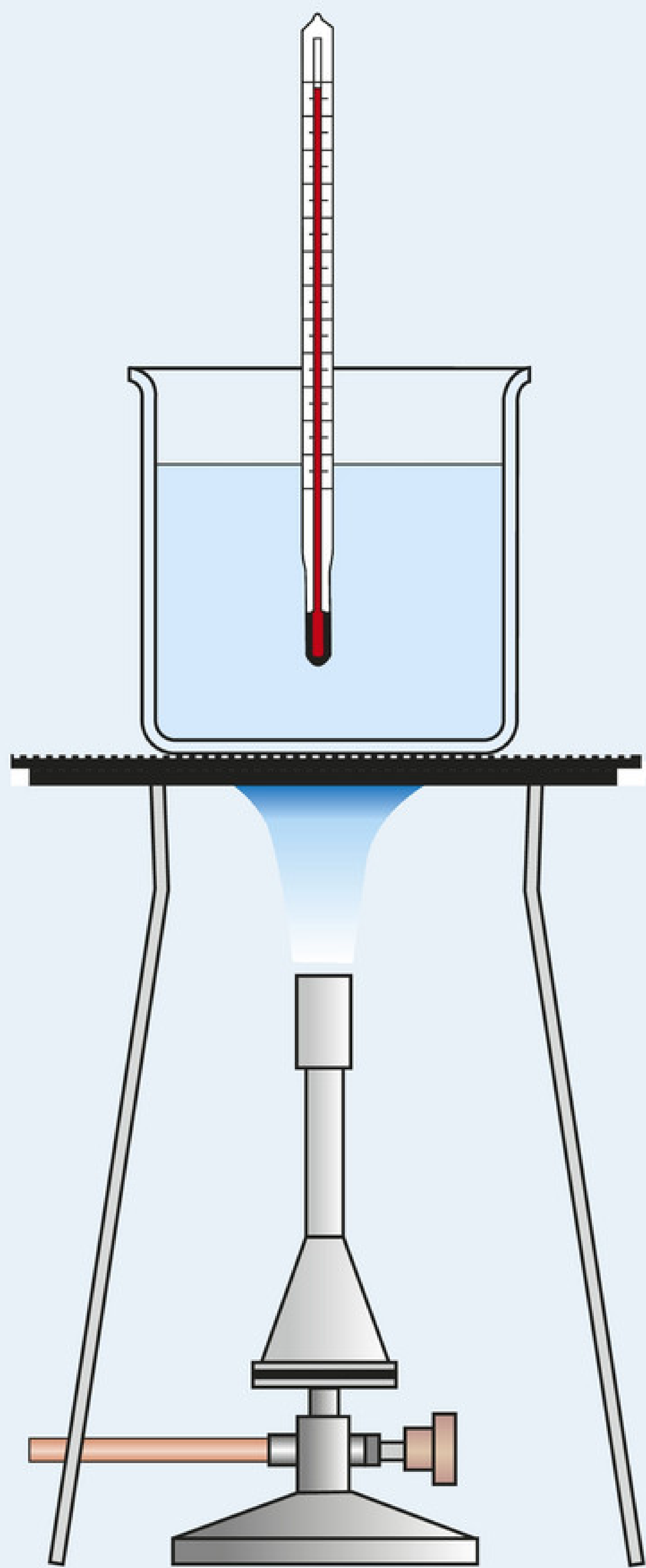
Voorbereiden
Doe precies 100 mL water in het bekerglas. Maak daarna de opstelling die in figuur 42 is getekend.

1 Neem tabel 4 over in je schrift.
Noteer de temperaturen die je afleest, in de tabel.

▼ **tabel 4** de meetresultaten van proef 3

tijd (min)	temperatuur (°C)
0,0	
0,5	
1,0	
1,5	
enzovoort	

- Meet de begintemperatuur van het water.
- Steek de brander aan zoals je dat hebt geleerd. Draai de gasregelknop half open.
- Draai de luchtregelknop zover open dat je een vlam krijgt die rustig brandt (zonder veel lawaai te maken).
- Schuif de brander onder het bekerglas op de driepoot (figuur 42).



◀ **figuur 42**
de opstelling van proef 3

- Lees om de dertig seconden de thermometer af. Houd het reservoir van de thermometer tijdens het meten ongeveer een centimeter boven de bodem van het bekerglas.
- Op een gegeven moment gaat het water koken. Doe daarna nog vier metingen.
- Doe de brander uit na de laatste meting.

2 Waaraan kon je zien dat het water kookte?

- Bekijk hoeveel water er nog in het bekerglas zit.

3 Is er water uit het bekerglas verdwenen? Zo ja, waar is dat water gebleven?

Uitwerken

4 Pak werkblad 3-1. Teken daarop de grafiek van deze proef.

- **a** Teken eerst je meetresultaten in als een serie punten. Zie vaardigheid 13 achter in het boek.
- **b** Trek daarna een vloeiende lijn die zo goed mogelijk bij de meetpunten aansluit. Je mag dus niet met een liniaal de punten één voor één met elkaar verbinden.

Proef 4 Het kookpunt van alcohol 20 min

Inleiding
Elke zuivere stof heeft een kookpunt. Het kookpunt is een stofeigenschap die voor elke stof verschillend is. Je kunt een stof dus aan het kookpunt herkennen.

Doel
Bij deze proef ga je het kookpunt van zuivere ethanol (= gewone alcohol) bepalen. Omdat ethanol zeer brandbaar is, doe je de proef op een speciale manier.

Nodig
- bekerglas
- reageerbuis met ethanol
- thermometer
- horloge/stopwatch
- gasbrander
- driepoot
- gaasje
- lucifers/aansteker

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Doe 200 mL water in het bekerglas.
- Verwarm het water met de brander. Gebruik een vlam die rustig brandt (zonder veel lawaai te maken).
- Wacht tot het water kookt. Doe dan de brander uit.
- Wacht tot je docent ook de hoofdkraan heeft dichtgedraaid.

Meten
- Zet de reageerbuis met ethanol in het hete water.
- Zet de thermometer in de ethanol in de reageerbuis
- Lees de temperatuur af tot deze niet meer verandert.

1 Hoe verandert de temperatuur van de ethanol tijdens de proef?
2 Wat zie je aan de ethanol als de temperatuur niet meer stijgt?
3 Hoe hoog is het kookpunt van ethanol volgens deze proef?

- Ruik vlak bij de opstelling en let op de geur die je daar waarneemt.

4 Probeer die geur te omschrijven.
5 Wat is er met de ethanol gebeurd?

Proef 5 Een koud makend mengsel 15 min

Inleiding
Als je consumptie-ijs wilt maken, moet je ervoor zorgen dat de ingrediënten koud genoeg worden om te bevriezen. Daar bestaan speciale ijsmachines voor, maar je kunt ook gebruikmaken van een koud makend mengsel.

Doel
Bij deze proef zie je hoe je met een mengsel van zout en ijs de temperatuur kunt laten dalen tot ver onder 0 °C.

Nodig
- bekerglas met 150 mL fijngestampt ijs
- thermometer
- keukenzout
- schepje
- reageerbuis
- limonade
- roerstaafje
- horloge/stopwatch

Uitvoeren en uitwerken

- Meet de temperatuur van het smeltende ijs en noteer deze.
- Doe drie flinke scheppen zout bij het ijs en roer het mengsel kort.

1 Wat zie je gebeuren als je het zout toevoegt en roert?

- Zet de thermometer meteen weer in het mengsel van ijs en zout.

2 Noteer iedere 15 seconden de temperatuur. Ga hiermee door tot de temperatuur niet meer verandert.

- Doe 1 mL limonade (ongeveer zo hoog als de dikte van een wijsvinger) in de reageerbuis en zet deze in het smeltende ijs.

3 Wat gebeurt er met de limonade? Hoe komt dat?

Thuisopdracht

4 Zoek op internet een recept voor roomijs. Leg uit hoe je met een koud makend mengsel roomijs kunt maken.

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: afkoelen door verdampen 30 min

Inleiding

Een producent van laboratoriumapparatuur wil een koelapparaat ontwerpen waarmee extreem lage temperaturen bereikt kunnen worden. Aan de ontwerper is gevraagd om gebruik te maken van het afkoelende effect dat snel verdampende vloeistoffen hebben. De vraag is nu met welke vloeistof de laagste temperatuur bereikt kan worden. Daarvoor wordt de afdeling research ingeschakeld. Jij bent bij deze opdracht de wetenschapper die het onderzoek moet uitvoeren.

Doel

De onderzoeksvraag luidt:
In hoeverre kun je de temperatuur laten dalen met drie verdampende vloeistoffen?
De verdampende vloeistoffen zijn water, ethanol en nagellakoplosser. Je moet de vloeistoffen zo eerlijk mogelijk met elkaar vergelijken.

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Wat ga je meten, welke practicumspullen heb je nodig, hoe kun je elke vloeistof onder precies dezelfde omstandigheden testen?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Proef 7 Een ontwerp maken: de regenmeter 90 min

Inleiding
Jouw school gaat een weerproject doen, waarbij de leerlingen zelf gegevens verzamelen. Een van die weergegevens is de hoeveelheid neerslag die er de afgelopen 24 uur is gevallen. Het is de bedoeling dat de leerlingen hiervoor zelf een betrouwbare regenmeter maken. Jij krijgt de opdracht om een ontwerp van zo'n meter te maken.

Doel
Bij deze proef ga je een regenmeter ontwerpen, bouwen en ijken. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- De regenmeter is gemaakt van materialen die weinig of niets kosten. Op internet kun je hier ideeën voor vinden.
- Op de schaalverdeling kan het aantal millimeter regen afgelezen worden dat sinds de laatste meting gevallen is. (Dat is hoe hoog het water zou staan, als de regen niet zou wegstromen, verdampen of in de bodem wegzakken.)
- De regenmeter 'vergroot' de stijging van het water minstens 5 keer: als er 1 mm regen valt, stijgt het water in de regenmeter minstens 5 mm.
- De regenmeter kan na een meting weer gemakkelijk 'op nul' gezet worden.
- De regenmeter staat stabiel en zit stevig in elkaar. Je kunt er zonder problemen twee weken lang metingen mee doen, ook bij slecht weer.
- De schaalverdeling van de meter is geijkt: je hebt gecontroleerd of de streepjes en de getallen juist zijn aangebracht.

Nodig
Bij deze opdracht bedenk je zelf welke spullen je nodig hebt. Overleg indien nodig met je docent.

Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de opdracht kunt uitvoeren. Uit welke onderdelen bestaat jouw meter, welke spullen heb je nodig, hoe kun je testen of de schaalverdeling klopt?

1 Maak een werkplan voor deze opdracht.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan daarna nog indien nodig.
– Bouw de regenmeter en ijk hem zorgvuldig.

2 Maak een testverslag met daarin:
- **a** een duidelijke bouwtekening van de regenmeter;
- **b** de tests die je hebt uitgevoerd, en de resultaten daarvan;
- **c** eventuele veranderingen die je in het ontwerp hebt aangebracht.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 t/m 16 ook op de computer maken.

1 Dauw, hagel, regen, rijp en sneeuw zijn vormen van neerslag.
Geef bij elke vorm aan in welke fase die neerslag zich bevindt.

2 Willem zegt: “Mist bestaat uit waterdruppeltjes.”
Joyce zegt: “Mist bestaat uit waterdamp.”
Wie heeft er gelijk?
A Ze hebben beiden gelijk.
B Geen van beiden heeft gelijk.
C Alleen Willem heeft gelijk.
D Alleen Joyce heeft gelijk.

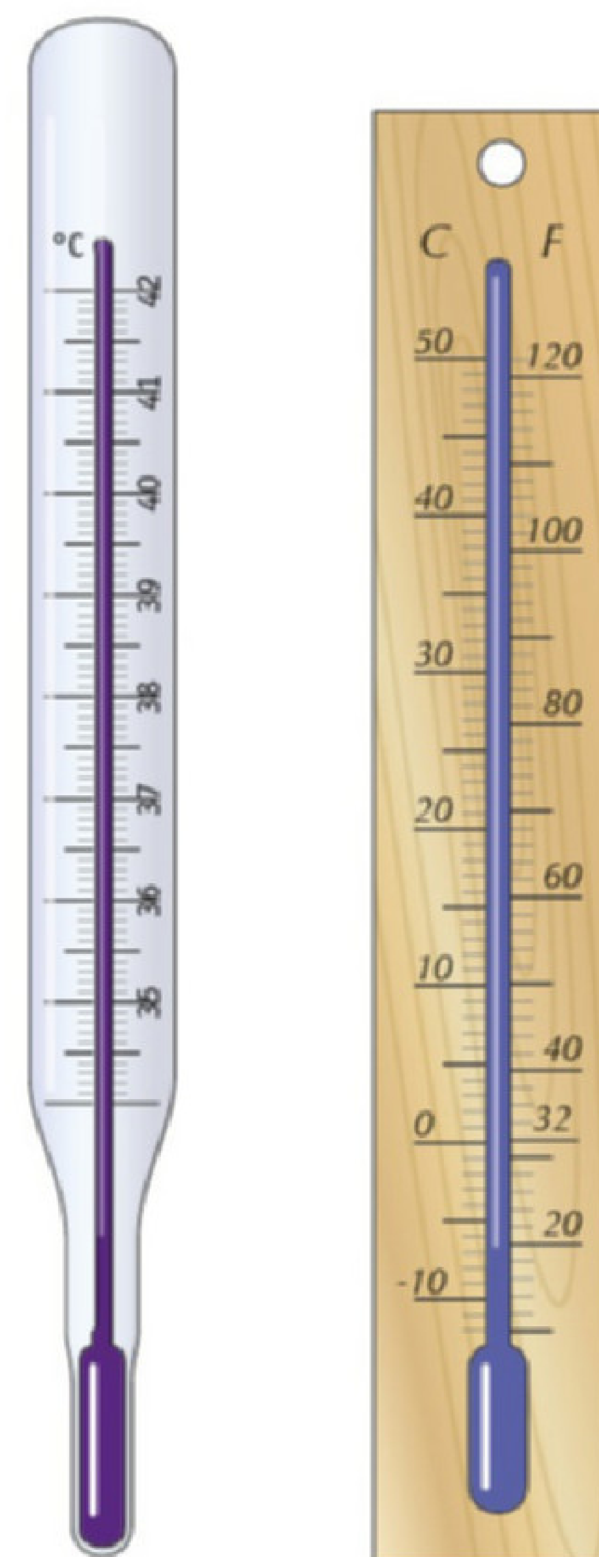
3 Je ademt op het raam: het raam beslaat.
a Hoe heet de fase-overgang waardoor er een vochtige plek ontstaat op het raam?
b Hoe heet de fase-overgang waardoor deze vochtplek even later weer verdwijnt?
c Hoe heet het verschijnsel waardoor waterdruppeltjes aan het raam blijven ‘plakken’?

4 Sneeuwvlokken bestaan uit ijskristallen. Lees de twee beweringen over de moleculen in zo’n kristal:
1 De moleculen hebben allemaal hun eigen vaste plaats.
2 De moleculen staan stil.
Welke van deze beweringen is of zijn juist?
A geen van beide
B alleen bewering 1
C alleen bewering 2
D zowel bewering 1 als bewering 2

5 Hans heeft twee vloeistofthermometers. Thermometer A heeft dezelfde afmeting als thermometer B. In A zit een vloeistof die per graad temperatuurstijging meer uitzet dan de vloeistof in B.
Op welke thermometer kun je de temperatuur het nauwkeurigst aflezen?

6 Bob heeft op een thermometer zonder schaalverdeling het nulpunt (0 °C) en het honderdpunt (100 °C) aangegeven. De twee streepjes staan 12 cm uit elkaar.
a Hoeveel centimeter ligt het streepje van –20 °C onder het streepje van 0 °C?
b Als Bob zijn zelfgemaakte thermometer in water van onbekende temperatuur plaatst, stijgt de alcohol tot op 5,4 cm boven het streepje van 0 °C.
Reken uit welke temperatuur dit water had.
c Hoe heet het aanbrengen van een schaalverdeling op een meetinstrument?

7 In figuur 43 zie je twee thermometers.
a Welke thermometer heeft het grootste meetbereik?
b Welke thermometer geeft de temperatuur het nauwkeurigst aan?



▲ **figuur 43**
een koortsthermometer en een buitenthermometer

8 Er hangt een druppel aan een kraan.
Kies steeds het juiste antwoord.
a De druppel blijft aan de kraan hangen door *cohesie / adhesie*.
b Het water in de druppel wordt bij elkaar gehouden door *cohesie / adhesie*.

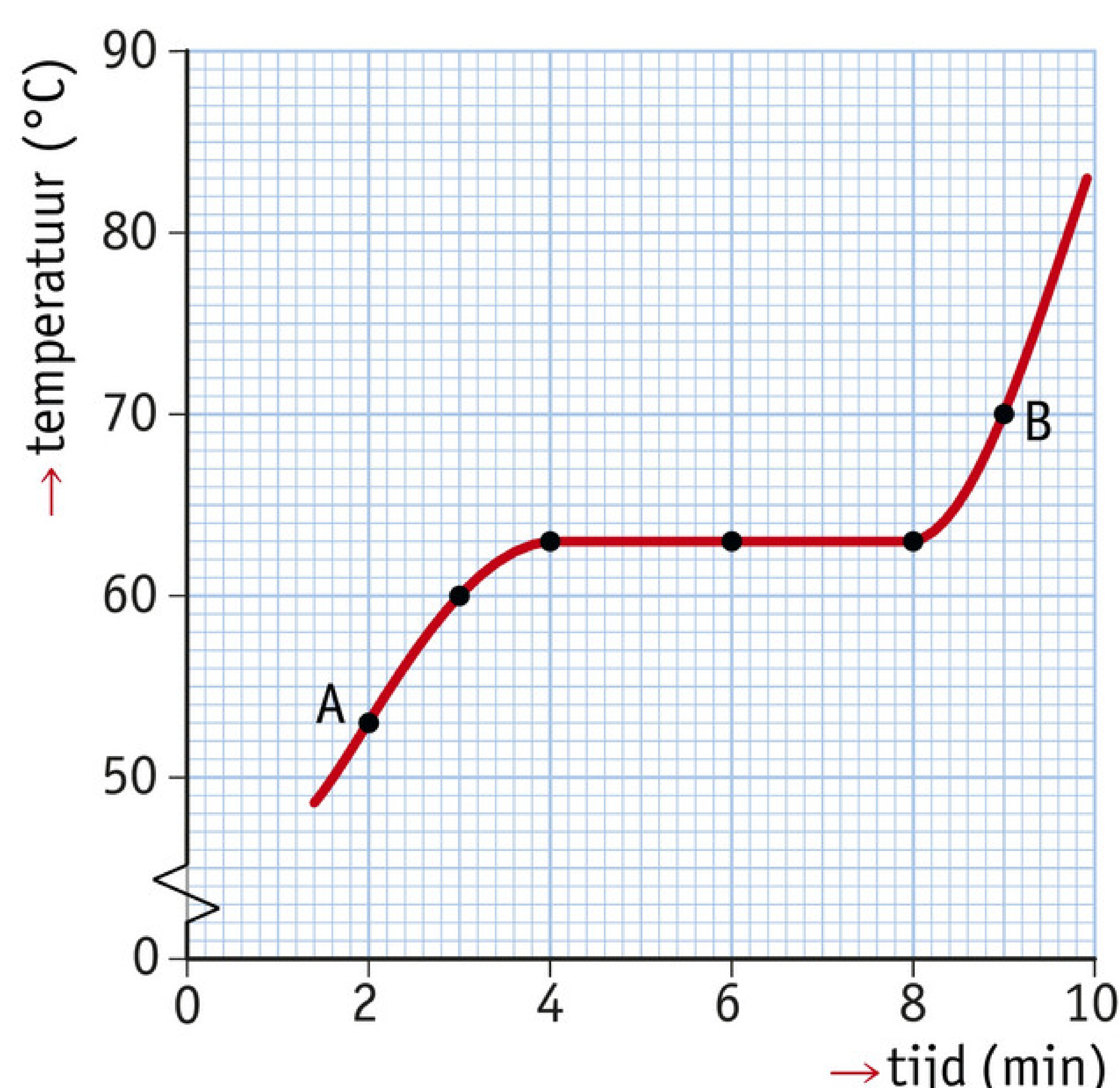
9 Lees het weerbericht in figuur 44.
- **a** Welke fase-overgang is er de oorzaak van dat er stapelwolken ontstaan?
- **b** Welke fase-overgang is er de oorzaak van dat de bewolking weer ‘oplost’?
- **c** Hoe komt het dat er juist in een heldere zomernacht kans is op grondmist?

> De dag begint met een strakblauwe hemel. In de loop van de ochtend ontstaan de eerste stapelwolken. ’s Middags wisselen zon en schaduw elkaar af bij een temperatuur van 22 à 23 °C. Tegen de avond lost de bewolking weer op. ’s Nachts is het weer helder en kan er hier en daar grondmist ontstaan.

▲ **figuur 44**
een weerbericht

10 Gijs draait de luchtregelring van zijn brander dicht. Daarna steekt hij de brander aan.
Met wat voor vlam brandt de brander nu?
- **A** met een blauwe, goed zichtbare vlam
- **B** met een blauwe, slecht zichtbare vlam
- **C** met een gele, goed zichtbare vlam
- **D** met een gele, slecht zichtbare vlam

11 Lucy heeft een proef gedaan met palmitinezuur (een van de bestanddelen van kaarsvet). In figuur 45 zie je de diagram die ze van haar proef gemaakt heeft.
- **a** Hoe noem je het soort diagram dat Lucy gemaakt heeft?
- **b** In welke fase is het palmitinezuur in gebied A?
- **c** In welke fase is het palmitinezuur in gebied B?
- **d** Hoe hoog is het stolpunt van palmitinezuur?
- **e** Hoe hoog is het smeltpunt van palmitinezuur?



◀ **figuur 45**
de proef van Lucy

12 Zeewater heeft een vriespunt van –3 °C.
Bekijk de volgende uitspraken:
- **A** Zeewater begint al een beetje te bevriezen bij het vriespunt van gewoon water.
- **B** Zeewater bevriest bij een hogere temperatuur dan gewoon water.
- **C** Bij –3 °C kan zeewater alleen in vaste vorm aanwezig zijn.
- **D** Zeewater kan niet verdampen bij –3 °C.

Welke uitspraken zijn waar?

13 In tabel 1 op bladzijde 77 staan twaalf stoffen. Peter heeft één van deze stoffen in een fles. De stof is bij kamertemperatuur (20 °C) een stroperige vloeistof. Als Peter de fles in de koelkast zet, stolt de stof.
Welke van de stoffen in tabel 1 zou dit kunnen zijn?

14 Noteer of de volgende uitspraken waar (W) zijn of onwaar (O).
- **a** In een vaste stof hebben de moleculen allemaal een eigen, vaste plaats.
- **b** De moleculen in een vaste stof kunnen op geen enkele manier bewegen.
- **c** In een vloeistof blijven de moleculen steeds zo dicht mogelijk bij elkaar.
- **d** Als de temperatuur stijgt, gaan de moleculen elkaar sterker aantrekken.
- **e** In een gas is de gemiddelde afstand tussen de moleculen het grootst.

15 Water zet uit als het verwarmd wordt.
Waardoor zet het water uit?
- **A** doordat de moleculen steeds groter worden
- **B** doordat er steeds meer moleculen bijkomen
- **C** doordat er meer ruimte tussen de moleculen komt
- **D** doordat het water gaat koken

16 Als je je hand in een plastic zakje doet en daarna het zakje rond je pols dichtplakt met tape, zie je na een poosje de binnenkant van het zakje beslaan.

- **a** Met welke fase-overgang heb je hier te maken?
- **b** Wat komt er blijkbaar uit je huid?

17 Rond 1900 werden treinen nog getrokken door stoomlocomotieven (figuur 46).
Volgens de natuurkundige definitie is stoom hete waterdamp.

- **a** Leg uit wat er volgens het deeltjesmodel met de moleculen gebeurt als water waterdamp wordt.
- **b** Kun je stoom volgens bovenstaande definitie zien? Leg uit.
- **c** In het dagelijks leven noemt men de witte pluimen die uit stoomlocomotieven komen 'stoom'. Waaruit bestaan die witte pluimen?
- **d** Door welke fase-overgang ontstaan die witte pluimen?



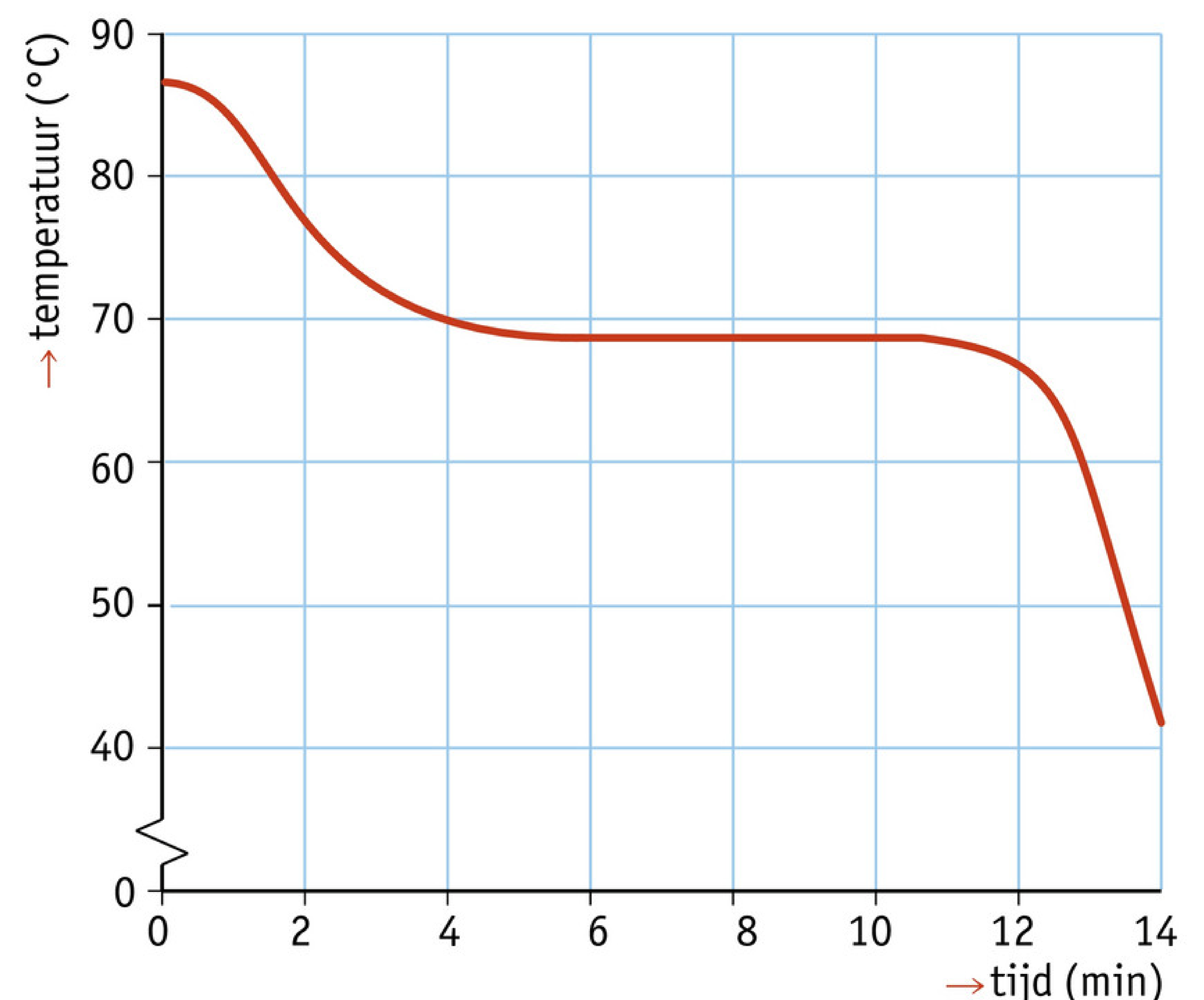
▲ **figuur 46**
een stoomtrein

18 Door een unieke eigenschap van water kun je na een aantal dagen vorst schaatsen op sloten en plassen. Andere vloeistoffen hebben deze eigenschap niet.

- **a** Om welke eigenschap gaat het hier?
- **b** Schets een grafiek van water waaruit deze eigenschap blijkt. Zet de temperatuur langs de *x*-as. Langs de *y*-as hoef je geen getallen te zetten maar je moet er wel de grootheid bij zetten.

19 Mahmoud heeft een proef gedaan met een onbekende stof. Eerst heeft hij de stof gesmolten. Daarna heeft hij de stof weer laten afkoelen, terwijl hij met een computer de temperatuur bijhield. Na afloop heeft Mahmoud de computer een diagram van de proef laten tekenen.
Zie figuur 47.

- **a** Is figuur 47 een smeltdiagram of een stoldiagram?
- **b** Hoe lang heeft de proef geduurd (vanaf het begin van de metingen)?
- **c** Hoe hoog is het smeltpunt/stolpunt van de stof?
- **d** Om welke stof zou het kunnen gaan?



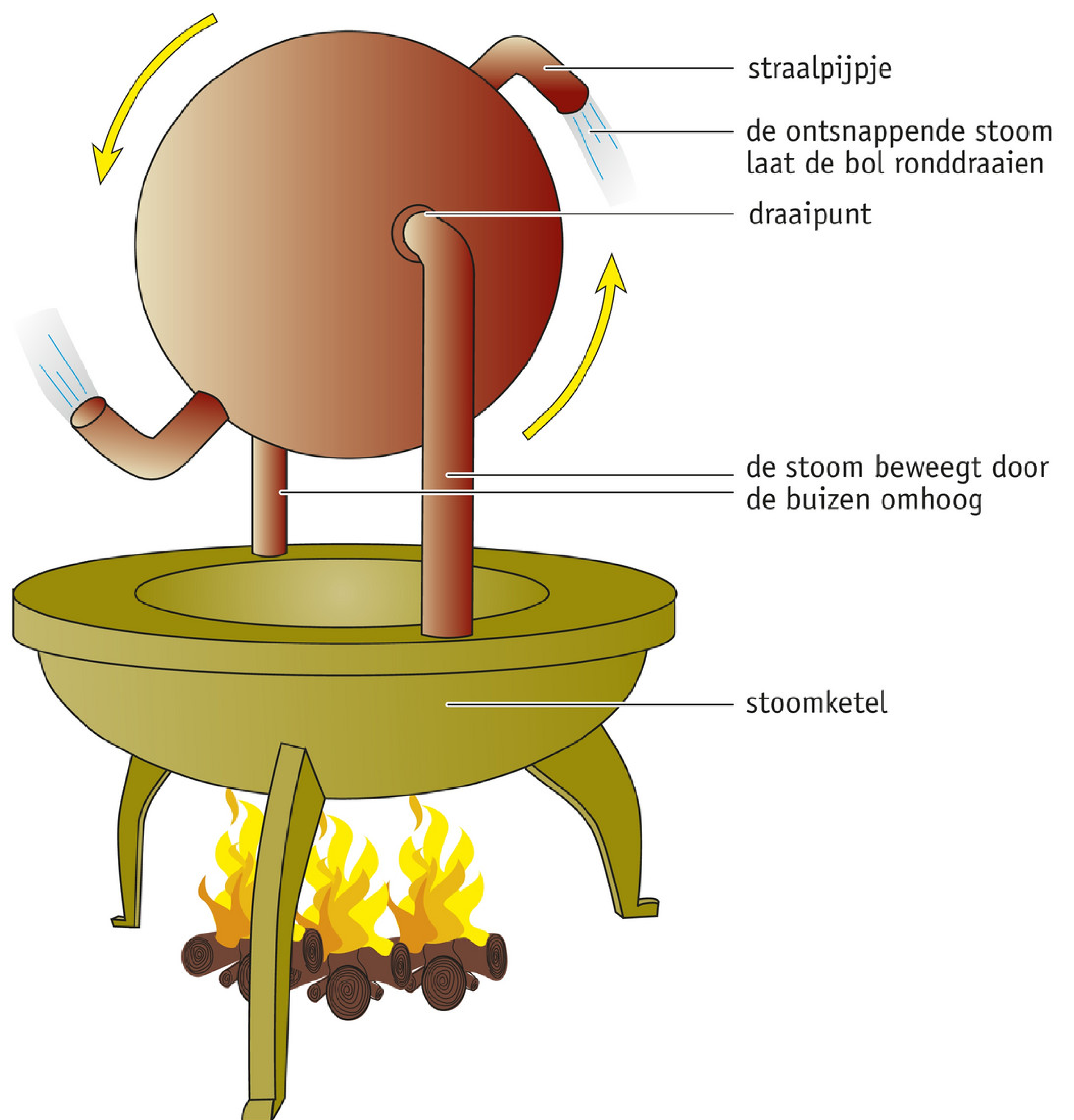
▲ **figuur 47**
de proef van Mahmoud

20 Schets in een diagram (tijd en temperatuur langs de assen) twee grafieken waarmee je het verschil uitlegt tussen een stof met een kookpunt en een stof met een kooktraject.

De explosieve kracht van STOOM

Eerst hoor je het geborrel van water en het gesis van ontsnappende stoom. Dan begint de grond onder je voeten te trillen. Plotseling schiet een vijftig meter hoge kolom van stoom en kokend water uit de grond. Terwijl de nevelwolken wegdrijven op de wind, blijft de eruptie eindeloos doorgaan, negen, tien minuten lang. Dan stopt de geiser weer, bijna even plotseling als hij begonnen is. Als je geluk hebt, is er over een uur of acht weer een voorstelling.





De eruptie van een flinke geiser is een indrukwekkend schouwspel. De kracht waarmee het water omhoog spuit, is enorm. Die kracht is afkomstig van oververhitte stoom die zich diep (op enkele kilometers) in de vulkanische bodem heeft gevormd. Bij een geiser zit de ondergrond zo in elkaar dat de stoom niet gemakkelijk uit de bodem kan ontsnappen. De druk loopt steeds verder op, totdat die niet meer te bedwingen is. De stoom ontsnapt dan met explosieve kracht en blaast tonnen heet water de lucht in.

Een tweeduizend jaar oude stoomturbine

Dat stoom krachten kan uitoefenen, was tweeduizend jaar geleden ook al bekend. Toen bouwde Heron van Alexandrië, een Griekse wetenschapper en uitvinder, 's werelds eerste stoomturbine.

Een primitieve machine – voor ons gevoel is het meer een speeltje dan een serieus apparaat – maar het idee erachter was goed. Een moderne stoomturbine werkt volgens dezelfde principes.

Op de tekening hierboven zie je hoe Herons uitvinding werkte. In een stoomketel werd water verhit. De stoom die daarbij ontstond, werd via twee holle buizen naar een draaibare bal geleid. Daar kon de stoom via twee gebogen pijpjes uit ontsnappen. De kracht waarmee dat gebeurde, was groot genoeg om de bal met een flinke snelheid te laten draaien.

De *aeolipile* van Heron (zo noemde hij zijn uitvinding) kan urenlang draaien op een paar liter water. Dat komt doordat er uit een kleine hoeveelheid water een enorm volume aan stoom kan ontstaan.

Als stoom onbelemmerd uit kan zetten, levert 1 liter water wel 1600 liter stoom op. Herons *aeolipile* haalt dat niet, omdat de stoom maar via twee nauwe openingen uit het apparaat kan ontsnappen. Toch heb je ook in dit geval genoeg aan 1 liter water om honderden liters stoom te maken.

Stoom opsluiten

Als je water kookt in een steelpannetje, kan de stoom alle kanten op. De stoom hoeft niet hard te duwen om meer ruimte voor zichzelf te maken. Je krijgt dan wel een heleboel stoom, maar geen grote krachten. Datzelfde zie je in vulkanische gebieden waar de stoom gemakkelijk uit de bodem kan ontsnappen. Je hebt daar wel hete bronnen die voortdurend borrelen en nevelwolken uitstoten, maar geen geisers die opeens krachtig uitbarsten.



Om stoom kracht te laten uitoefenen, moet je het opsluiten in een kleine ruimte, zoals de ketel van Herons aeolipile. Als het water in de ketel kookt, ontstaat er steeds meer stoom waar niet meteen een uitweg voor is. Daardoor loopt de druk in de ketel en de bol flink op – en dat is precies wat nodig is om de stoom met kracht uit de straalpijpjes te laten stromen.

Stoom onder hoge druk is uiterst geschikt om dingen in beweging te brengen. Nergens zie je dat beter dan in een moderne elektriciteitscentrale. Veertig meter hoge stoomketels produceren stoom voor een reeks turbines in de machinehal. De turbines worden aan het draaien gebracht door de gloeiend hete stoom die tegen de turbinebladen blaast – net als windmolens door de wind, maar dan vele malen krachtiger. Ze drijven op hun beurt generatoren aan die honderdduizenden mensen van elektrische energie voorzien.

Stoomexplosies

De kracht van stoom kan ook gevaarlijk zijn. Een ketel of een pijpleiding die stoom onder hoge druk bevat, kan het plotseling begeven door een constructiefout of door ouderdom en slecht onderhoud. De stoom stroomt dan met onweerstaanbare kracht naar buiten en blaast alles in zijn pad opzij. Mensen kunnen niet alleen gewond raken door de hete stoom, maar ook door rondvliegende brokstukken.

Op 18 juli 2007 explodeerde een ondergrondse stoomleiding onder een druk kruispunt in New York. De stoom blies heet water en modder meer dan 100 meter de lucht in. Het Chrysler gebouw van 319 meter hoog was door de witte nevelwolken niet meer te zien. Pas na twee uur trok de nevel op en werd een krater zichtbaar van 10 meter doorsnee en 4 meter diepte. De oorzaak: een zwakke plek in een tachtig jaar oude stoompijp.

De explosieve kracht van stoom is ook de reden dat je een brandende frituurpan NOOIT met water moet proberen te blussen. De combinatie van water en heet brandend vet is levensgevaarlijk. Als het water het frituurvet raakt, zal het razendsnel veranderen in stoom. De daarop volgende stoomexplosie slingert het brandende vet alle kanten op. Er ontstaat een grote vuurbal die alles om zich heen in brand zet.

Voorzichtig... stoom!

Stoomketels worden zorgvuldig ontworpen zodat ze de enorme kracht van de stoom kunnen weerstaan. De bouwers houden een veiligheidsmarge aan. Ook als de druk boven de maximaal toelaatbare waarde stijgt, vliegen de brokken je niet meteen om de oren. Bovendien zijn er allerlei veiligheidsvoorzieningen. Als de druk in een ketel te hoog oploopt, gaan er meteen veiligheidskleppen open. Daardoor kan er stoom ontsnappen, zodat de druk in de ketel begint te zakken. Buiten de ketel zie je dan een grote nevelwolk waar de hete stoom condenseert in de koude buitenlucht.

Aan het begin van het stoomtijdperk, nu zo'n tweehonderd jaar geleden, had de veiligheid nog niet zoveel aandacht. Maar er gebeurden zoveel ongelukken dat daar al snel verandering in kwam. In 1824 werd in Nederland de Stoomwet van kracht. Daarin stonden allerlei regels die voor meer veiligheid moesten zorgen. De mensen van toen zullen alle voorschriften weleens lastig hebben gevonden, maar de veiligheid verbeterde er enorm door.

WEETJE

New York heeft het grootste commerciële stoomsysteem ter wereld, met circa 160 km aan pijpleidingen. Meer dan honderdduizend bedrijven en huishoudens zijn op het systeem aangesloten. Woningverwarming, warmwatervoorziening en airconditioning zijn de belangrijkste toepassingen. Sommige van de stoompijpen zijn al meer dan honderd jaar oud.

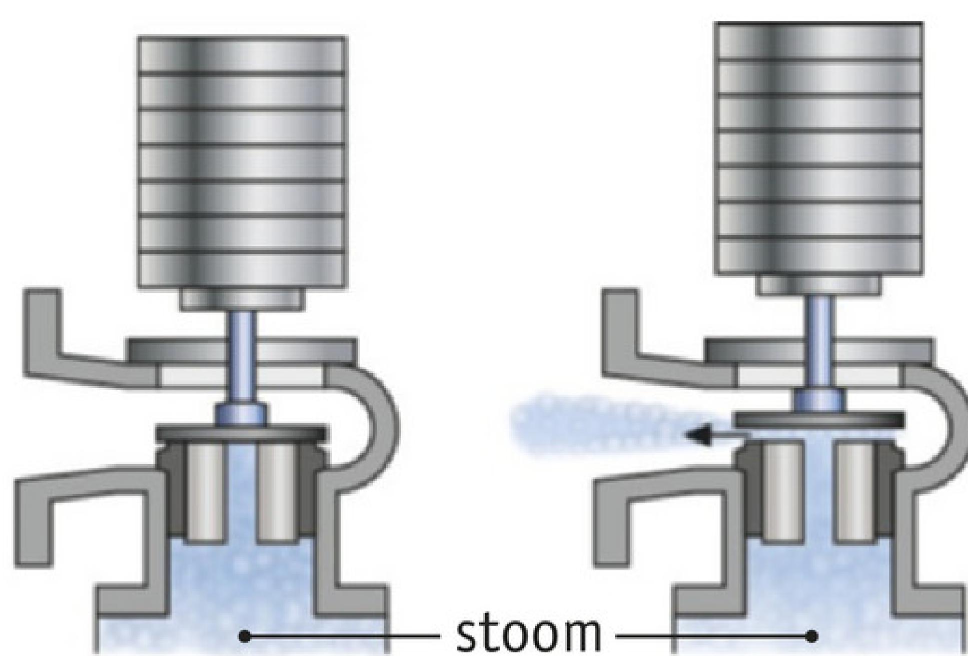


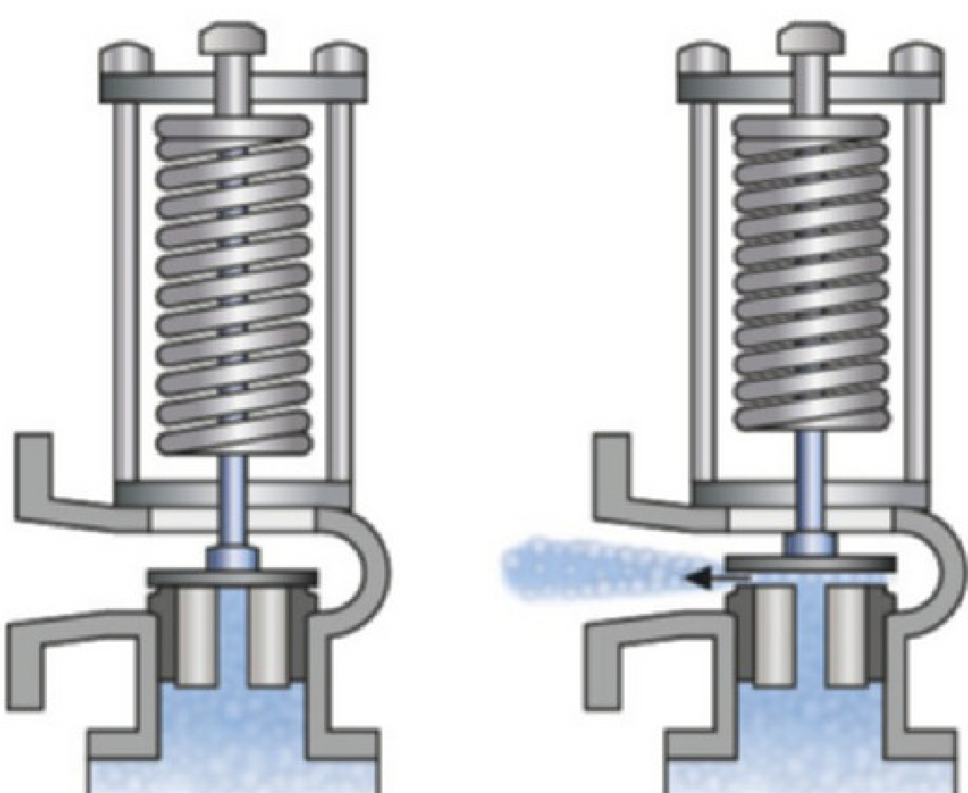
Stoomontploffing treft New York

NEW YORK (ANP) – Midden in de Amerikaanse stad New York heeft zich woensdag een zware explosie voorgedaan tijdens de avondspits. Volgens de autoriteiten is een ondergrondse stoompijp ontploft in een van de straten van hartje Manhattan. Meer dan twintig mensen hebben verwondingen opgelopen. De druk is inmiddels van de stoompijp gehaald. De ravage is groot.

De Volkskrant, 19 juli 2007

De ouderwetse stoommachine is inmiddels bijna uitgestorven, maar stoomturbines doen het nog altijd fantastisch. Ze wekken 80% op van alle elektrische energie die wereldwijd wordt gebruikt. Zelfs een kerncentrale kan niet zonder stoomturbines om warmte om te zetten in beweging. Elektriciteit heeft het gebruik van stoom dus niet overbodig gemaakt, maar alleen verplaatst … naar de centrale. Als je er goed over nadenkt, maken zelfs je smartphone en je laptop indirect gebruik van de kracht van stoom.





Opgaven

1 Leg uit hoe het komt:
- **a** dat geisers niet voorkomen in gebieden waar de bodem heet water en stoom gemakkelijk doorlaat.
- **b** dat de druk in de ketel en bol van Herons *aeolipile* oploopt, als het water in de ketel begint te koken.
- **c** dat je een enorm risico loopt als je een brandje in een frituurpan met water probeert te blussen.

2 Bij een stoomexplosie ontstaan altijd grote wolken witte ‘nevel’.
- **a** Uit welke stof bestaan die nevelwolken? In welke fase is die stof?
- **b** De media hebben het over ‘stoomwolken’ en ‘wolken waterdamp’. Waarom zijn deze namen vanuit natuurkundig oogpunt minder juist?
- **c** In een krantenbericht staat: “De stoomwolken losten snel weer op.”
  Vertaal deze zin van ‘alledaagse/mediataal’ naar ‘natuurkundetaal’.

3 Bekijk de twee veiligheidskleppen die hiernaast getekend zijn. Leg uit:
- **a** hoe de bovenste veiligheidsklep werkt.
- **b** hoe de onderste veiligheidsklep werkt.





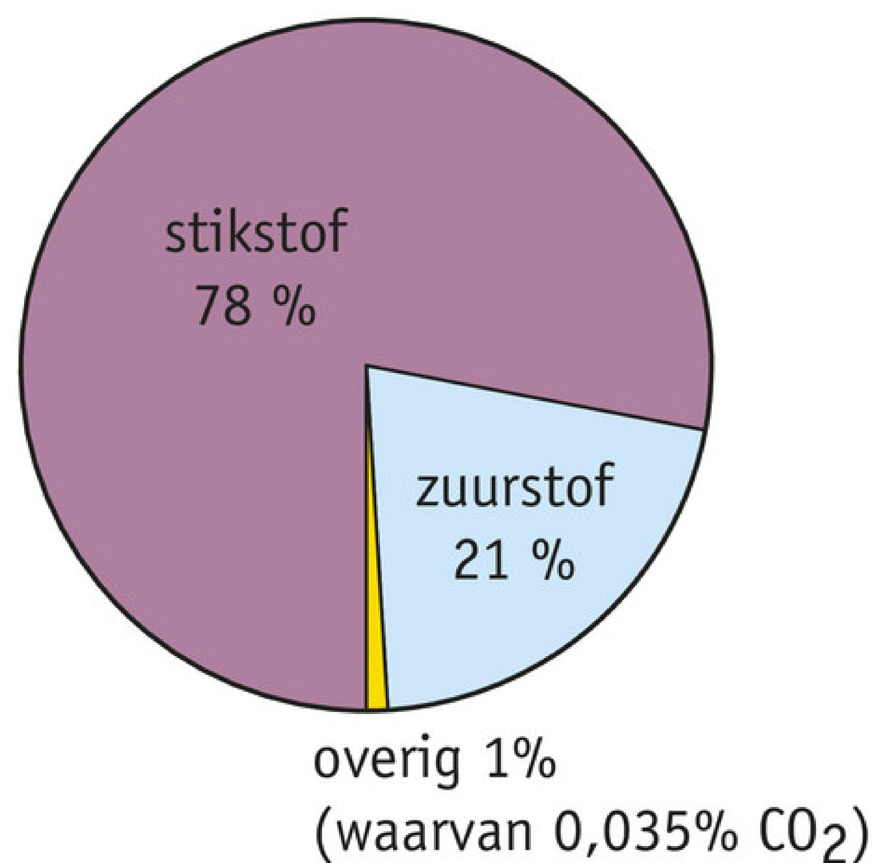
4 Lucht

Lucht om in te leven

Als schermvlieger kun je uren zweven in de ijle lucht, hoog boven de aarde. Beneden je zijn de mensen bezig met van alles en nog wat. Hun leven speelt zich af op de bodem van een zee van lucht.

1 Lucht: een mengsel van gassen

Lucht is doorzichtig en heeft geen geur of smaak. Daardoor sta je er niet vaak bij stil dat er overal om je heen lucht is. De dampkring en de lucht daarin zijn onmisbaar voor het leven op aarde. Daarom is het belangrijk om die goed te onderzoeken.



▲ **figuur 1**
de samenstelling van lucht

De samenstelling van lucht Proef 1

De belangrijkste bestanddelen van lucht zijn **stikstof** en **zuurstof** (figuur 1). Daarnaast komen er in lucht kleine hoeveelheden voor van andere gassen, zoals argon en **koolstofdioxide**. Lucht bevat ook waterdamp; de hoeveelheid daarvan per kubieke meter kan sterk wisselen.

Stikstof
Lucht bestaat voor 78% uit stikstof (N_2). Je lichaam heeft dit gas niet nodig. Je ademt het in en uit, zonder dat er in je longen iets mee gebeurt.

Zuurstof
Lucht bestaat voor ongeveer 21% uit zuurstof (O_2). Mensen en dieren hebben dit gas nodig om te kunnen leven. Door adem te halen zorg je ervoor dat je lichaam van zuurstof wordt voorzien.

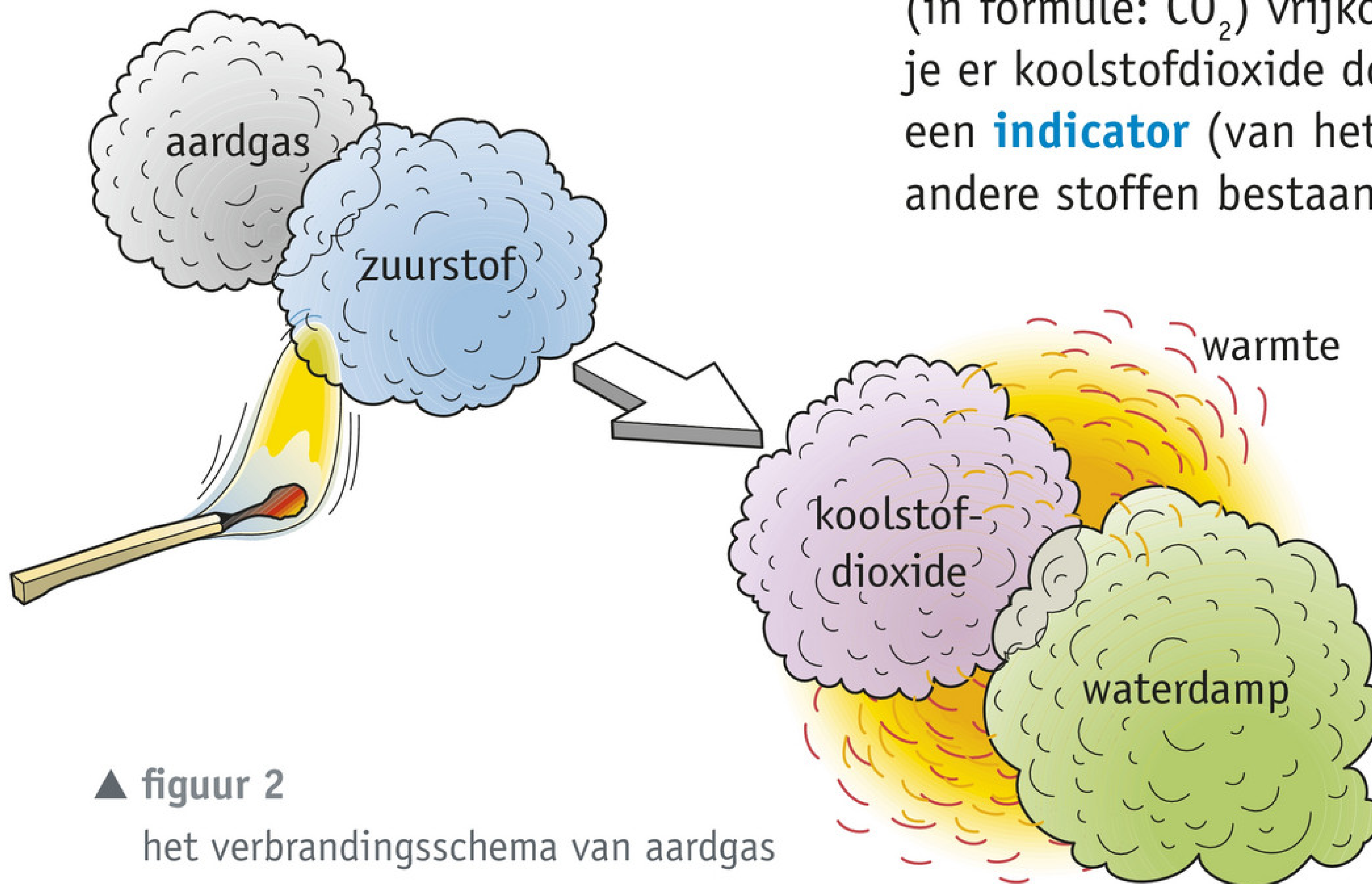
Koolstofdioxide
Lucht bestaat (gemiddeld) voor slechts 0,03% uit koolstofdioxide (CO_2). Dit gas is, net als zuurstof, onmisbaar voor het leven op aarde. Planten hebben het nodig om te kunnen groeien.

Zuurstof en verbranding

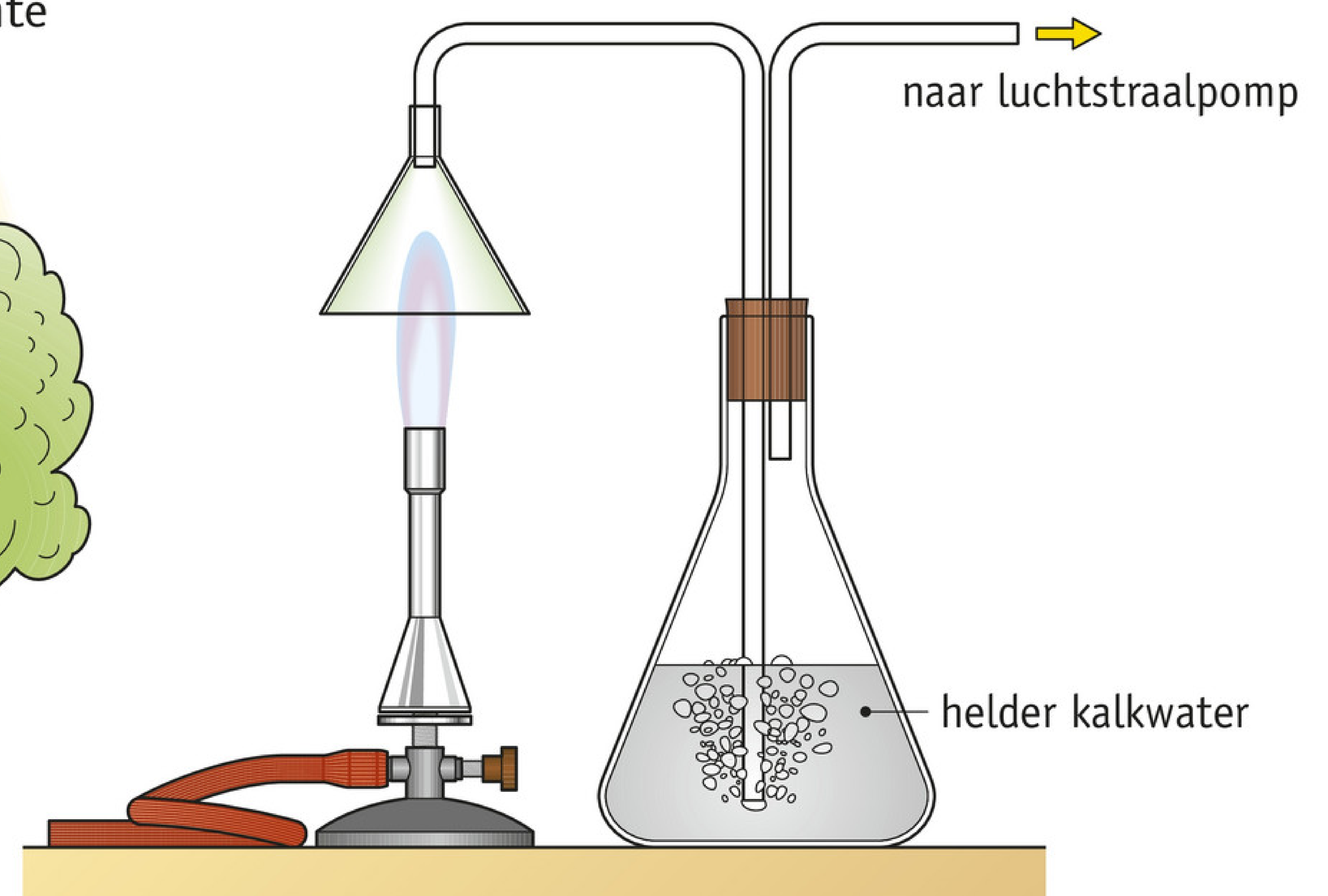
Zuurstof is ook onmisbaar bij het verbranden van brandstof, zoals aardgas, hout of benzine. Daarom wordt het aardgas in de branders op school eerst vermengd met lucht. Je steekt het mengsel van gas en lucht aan met een lucifer of een aansteker. Dat zorgt ervoor dat de **ontbrandingstemperatuur** wordt bereikt: de temperatuur waarbij het gas begint te branden. Voor aardgas ligt de ontbrandingstemperatuur op circa 630 °C.

De vlam gebruikt niet alleen aardgas, maar ook zuurstof. Bij de verbranding ontstaan er hete **verbrandingsgassen**: water(damp) en koolstofdioxide (figuur 2). Met die warmte kun je koken of de inhoud van een bekerglas verwarmen, maar ook elektriciteit opwekken en autorijden.

Met kalkwater kun je aantonen dat er bij de verbranding koolstofdioxide (in formule: CO_2) vrijkomt. Kalkwater is helder, maar wordt troebel als je er koolstofdioxide doorheen laat 'bubbelen' (figuur 3). Kalkwater is een **indicator** (van het Latijnse *indicare* = aanwijzen) voor CO_2. Ook voor andere stoffen bestaan er indicatoren.



▲ **figuur 2**
het verbrandingsschema van aardgas



▶ **figuur 3**
koolstofdioxide aantonen

De atmosfeer

Rond de aarde bevindt zich een laag lucht, die de **dampkring** of de **atmosfeer** wordt genoemd (figuur 4). Daarbuiten is er alleen 'lege' ruimte. Zo'n luchtledige ruimte wordt een **vacuüm** (van het Latijnse *vacuus* = leeg) genoemd. Je kunt niet precies zeggen hoe dik de atmosfeer is, omdat de lucht bij toenemende hoogte steeds ijler wordt: de dichtheid van de lucht neemt af. Op grote hoogte gaat de atmosfeer ongemerkt over in het vacuüm van het heelal.



▶ **figuur 4**
De dampkring is de laag lucht die zich om de aarde bevindt.

Dat de lucht ijler wordt, betekent dat er per volume-eenheid steeds minder moleculen aanwezig zijn. Op 5,5 km hoogte is het aantal moleculen per kubieke meter de helft lager dan op zeeniveau. Op de top van de Mount Everest, 8850 m boven de zeespiegel, is dat aantal zelfs ongeveer drie keer zo laag.



▲ **figuur 5**
wonen in de Andes, op vijf km boven zeeniveau

De hoeveelheid zuurstof in de lucht neemt af als je hoger komt. Bij mensen die hun hele leven hoog in de bergen wonen, heeft het lichaam zich aangepast aan de situatie (figuur 5). Dat lukt tot een hoogte van ongeveer vijf km boven zeeniveau. Hoger dan zes km wonen er geen mensen meer. Op de hoogste bergen (acht tot negen km boven zeeniveau) is de lucht zo ijl dat de meeste bergbeklimmers flessen met zuurstof nodig hebben.

Hoogteziekte
Als je van zeeniveau snel naar grote hoogte gaat (meer dan 3 km boven zeeniveau), reageert je lichaam meteen (figuur 6). Je gaat vanzelf sneller ademhalen en je hart gaat sneller kloppen. Zo probeert je lichaam genoeg zuurstof te krijgen. Ondanks die aanpassingen bevat je bloed op grote hoogte minder zuurstof dan op zeeniveau.
Sommige mensen worden ziek door dit gebrek aan zuurstof. Ze voelen zich ellendig, zijn snel vermoeid en slapen slecht. Vaak gaat deze hoogteziekte na een paar dagen vanzelf over, maar het kan ook zo ernstig zijn dat het levensbedreigend is. In dat geval moet je zo snel mogelijk afdalen naar een kleinere hoogte. Meestal verdwijnen de klachten dan weer. Als snel afdalen niet mogelijk is, wordt het slachtoffer in een *Gamow bag* gelegd: een opblaasbare, luchtdicht afgesloten zak waar van buitenaf lucht ingepompt wordt. Hierin kan het slachtoffer zodanig opknappen dat hij daarna op eigen kracht of met hulp van anderen naar beneden kan gaan.



▶ **figuur 6**
Langzaam stijgen helpt om hoogteziekte in toom te houden.

Plus Edelgassen

Naast stikstof, zuurstof, koolstofdioxide en waterdamp zit er in lucht ook nog een heel klein percentage **edelgassen**. Er zijn zes edelgassen: helium, neon, argon, krypton, xenon en radon. Toen ze net ontdekt waren (radon werd als laatste ontdekt in 1900), werden deze gassen vaak 'zeldzaam' genoemd. Ze waren namelijk heel moeilijk te vinden op aarde. Edelgassen vormen een aparte groep binnen de gassen omdat ze een belangrijke eigenschap gemeen hebben: ze reageren vrijwel niet met andere stoffen. Voor zover nu bekend reageren helium, argon en neon buiten het laboratorium zelfs met geen enkele andere stof.

Helium (van het Griekse *hèlios* = zon) is zeldzaam op aarde, maar komt veel voor op de zon. Met dit gas kun je ballonnen vullen. Helium heeft een heel laag kookpunt, ongeveer −269 °C. Met vloeibaar helium kun je apparaten zoals een MRI-scanner in het ziekenhuis koelen tot een heel lage temperatuur. Artsen gebruiken een MRI-scanner om heel nauwkeurig in het menselijk lichaam te kijken om zo een diagnose te kunnen stellen (figuur 7). **Neon** vind je in gekleurde reclameverlichting en **xenon** wordt toegepast in lampen. **Radon** is radioactief en wordt gebruikt bij de bestrijding van kanker.



◀ **figuur 7**
De magneten in een MRI-scanner worden gekoeld met vloeibaar helium.

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Uit welke twee gassen bestaat lucht voor het overgrote deel?
- **b** Welke gassen komen er nog meer in lucht voor? Noem er twee.
- **c** Waarom is koolstofdioxide onmisbaar voor het leven op aarde?
- **d** Hoe noem je een ruimte waarin geen lucht of een ander gas zit?

2 Neem over en vul in.
Een verbrandingsreactie komt pas tot stand als er aan drie voorwaarden wordt voldaan.
1. Je hebt een … nodig, zoals aardgas of benzine.
2. Er moet voldoende aanvoer zijn van … (in lucht).
3. Je moet ervoor zorgen dat de … wordt bereikt.

3 Hoe kun je aantonen dat er bij de verbranding van aardgas:
- **a** waterdamp ontstaat?
- **b** koolstofdioxide ontstaat?

4 Anke wil een brander aansteken. Ze draait de gasregelknop open. Maak een tekening van een brander en schrijf erbij:
- **a** hoe je het mengsel van aardgas en lucht kunt laten ontbranden;
- **b** hoe je de brandstoftoevoer naar de gasvlam kunt regelen;
- **c** hoe je de zuurstoftoevoer naar de gasvlam kunt regelen.



▲ **figuur 8**
vacuüm verpakte kaas

5 Levensmiddelen zoals koffie, kaas en worst worden ook wel vacuüm verpakt (figuur 8).
- **a** Welke voordelen heeft het om levensmiddelen vacuüm te verpakken?
- **b** Hoe kun je zien dat een stuk kaas of worst vacuüm verpakt is?
- **c** Hoe kun je voelen dat koffie vacuüm is verpakt?
- **d** Wat hoor je als je een pak vacuüm verpakte koffie openmaakt?
- **e** Waardoor wordt het geluid van vraag d veroorzaakt?

6 Zoek op internet informatie over vliegen in de stratosfeer.
- **a** Waarom vliegen grote verkeersvliegtuigen gedurende het grootste gedeelte van de reis in de stratosfeer, op zo'n 10 km hoogte?
- **b** Wat is een drukcabine? Waarom is zo'n cabine onmisbaar voor een modern verkeersvliegtuig?
- **c** De raampjes van een vliegtuig zijn bijzonder stevig geconstrueerd. Het plexiglas dat erin zit, is vrijwel onbreekbaar.
  Wat zouden de gevolgen voor de passagiers zijn, als het plexiglas in zo'n raampje tijdens de vlucht zou breken? Licht je antwoord toe.

7 Het is belangrijk dat verse lucht een klaslokaal kan binnenstromen.
- **a** Waarom is dat belangrijk?
- **b** Schat de inhoud van het lokaal waarin je nu bent.
- **c** Stel dat er geen verse lucht het klaslokaal instroomt en dat iedere leerling per inademing 0,5 L lucht inademt. Bereken na hoeveel keer ademen alle lucht in het lokaal tenminste één keer is ingeademd.
- **d** Lucht heeft een dichtheid van 1,2 kg/m^3. Bereken de massa van de lucht in het lokaal.

***8** Als lucht warmer wordt, wordt de afstand tussen de moleculen groter.
- **a** Verandert dan de procentuele samenstelling van de lucht?
- **b** Verandert dan de dichtheid van de lucht?

***9** De luchtlaag waarin mensen zonder extra zuurstof kunnen leven is minder dan 6 km dik. Dat is erg weinig vergeleken met de straal van de aarde (6378 km).
Stel dat de aarde de grootte van een voetbal heeft. Schat de diameter van een voetbal en bereken hoe dik de luchtlaag dan zou zijn.

Plus

10 In lucht zit een heel klein percentage edelgassen.
- **a** Noem vier edelgassen.
- **b** Waarom worden deze gassen 'edel' genoemd?

11 Een kinderballon met helium vliegt de lucht in als je hem loslaat.
- **a** Leg uit hoe dat komt en gebruik daarbij het begrip dichtheid.
- **b** De dichtheid van helium is 0,178 kg/m³. Hoe groot is de dichtheid in g/L?
- **c** Schat de inhoud van een opgeblazen kinderballon.
- **d** Bereken daarmee hoeveel gram helium er in een kinderballon met helium zit.

12 Edelgassen worden op allerlei manieren gebruikt.
- **a** Zoek op waarvoor neon gebruikt wordt.
- **b** Zoek op welk edelgas gebruikt wordt voor koplampen van auto's.
- **c** Waarom gebruikt de autofabriek dat gas en niet gewoon lucht?

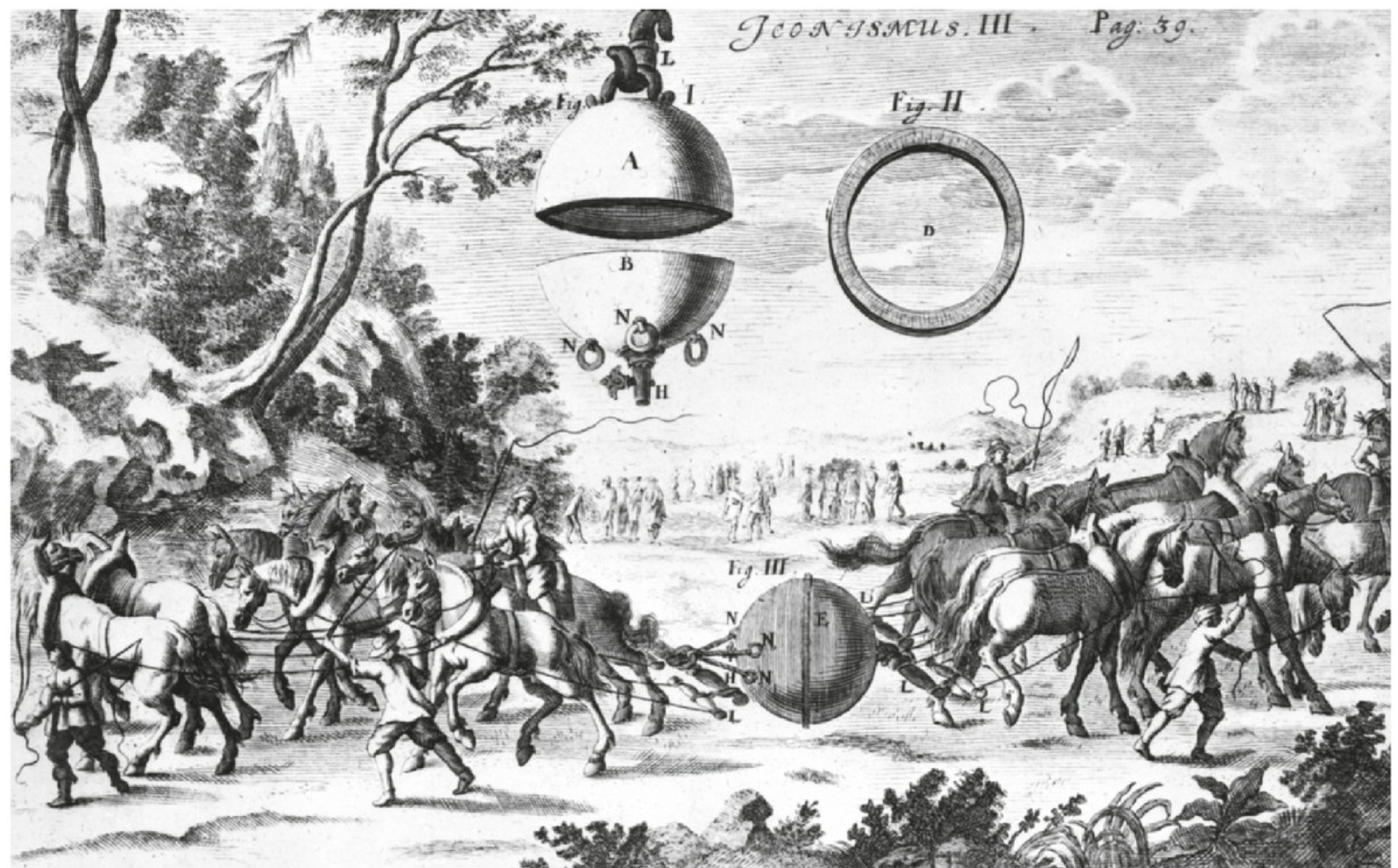
2 Luchtdruk

De lucht oefent een druk op je uit, net zoals water dat doet als je onder water bent. Vaak voel je de luchtdruk helemaal niet. Maar als je snel stijgt of snel daalt, bijvoorbeeld in een lift, merk je dat wel. Je voelt de luchtdruk dan aan de 'druk op je oren'.

Atmosferische druk Proef 2

Ook al heeft lucht een kleine dichtheid, alle lucht boven je hoofd heeft bij elkaar toch een behoorlijke massa (en dus gewicht). Daardoor oefent die lucht een druk uit op alles wat zich op aarde bevindt. Deze druk noem je de **luchtdruk** of de **atmosferische druk**.

Meestal merk je niets van de luchtdruk. Daarom zijn er proeven bedacht die je laten zien hoe groot de luchtdruk is. Een goed voorbeeld is de proef met de Maagdenburgse halve bollen. Bij deze proef worden twee halve bollen tegen elkaar gehouden. Daarna wordt de lucht er tussenuit gepompt. Je kunt de halve bollen dan bijna niet meer van elkaar af halen. Deze proef werd voor het eerst uitgevoerd in 1654 in de Duitse stad Maagdenburg (figuur 9).



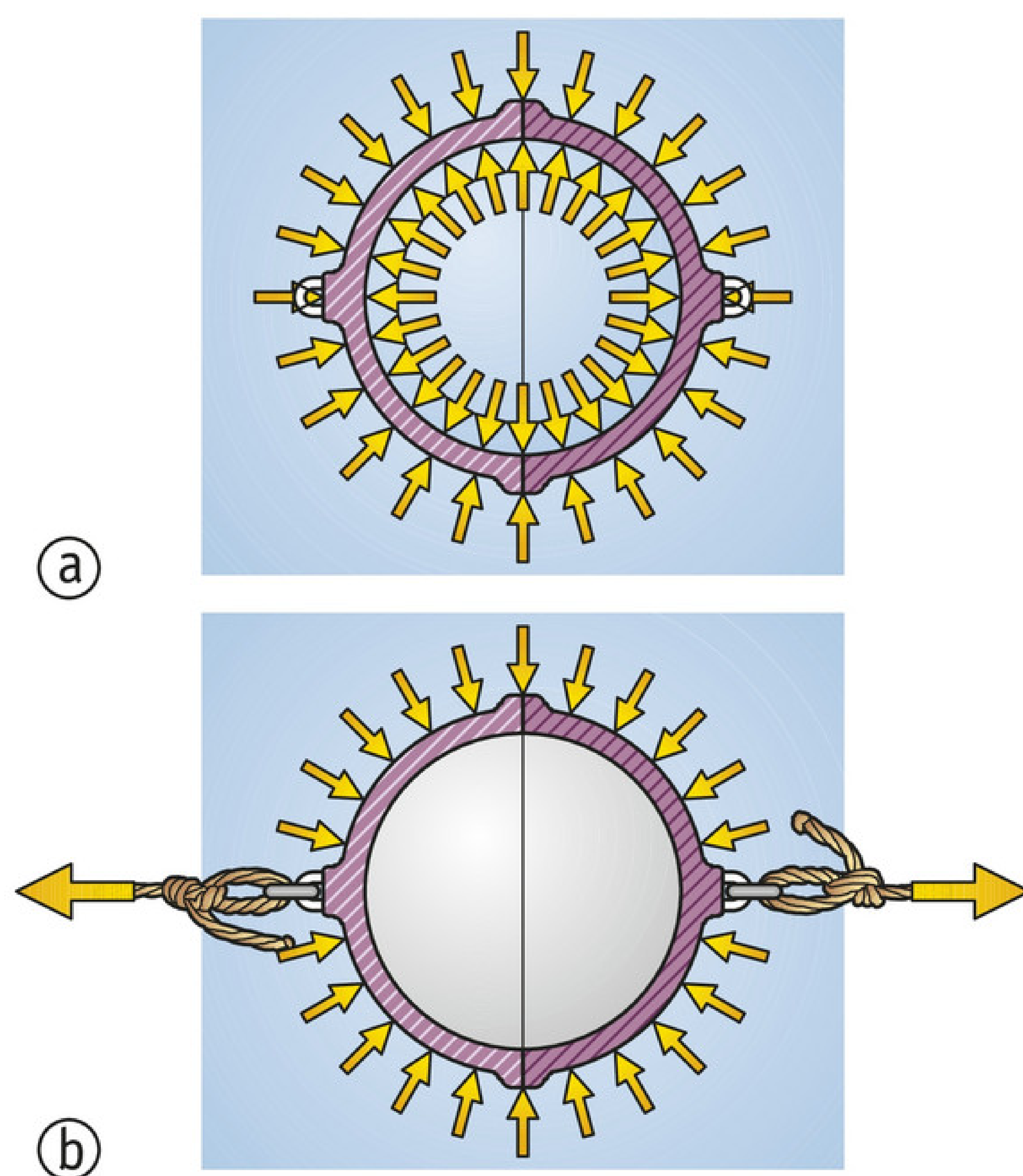
▶ **figuur 9**
Maagdenburg, 17e eeuw: zelfs met zestien paarden konden de halve bollen niet van elkaar getrokken worden.

Luchtdruk en tegendruk Proef 3

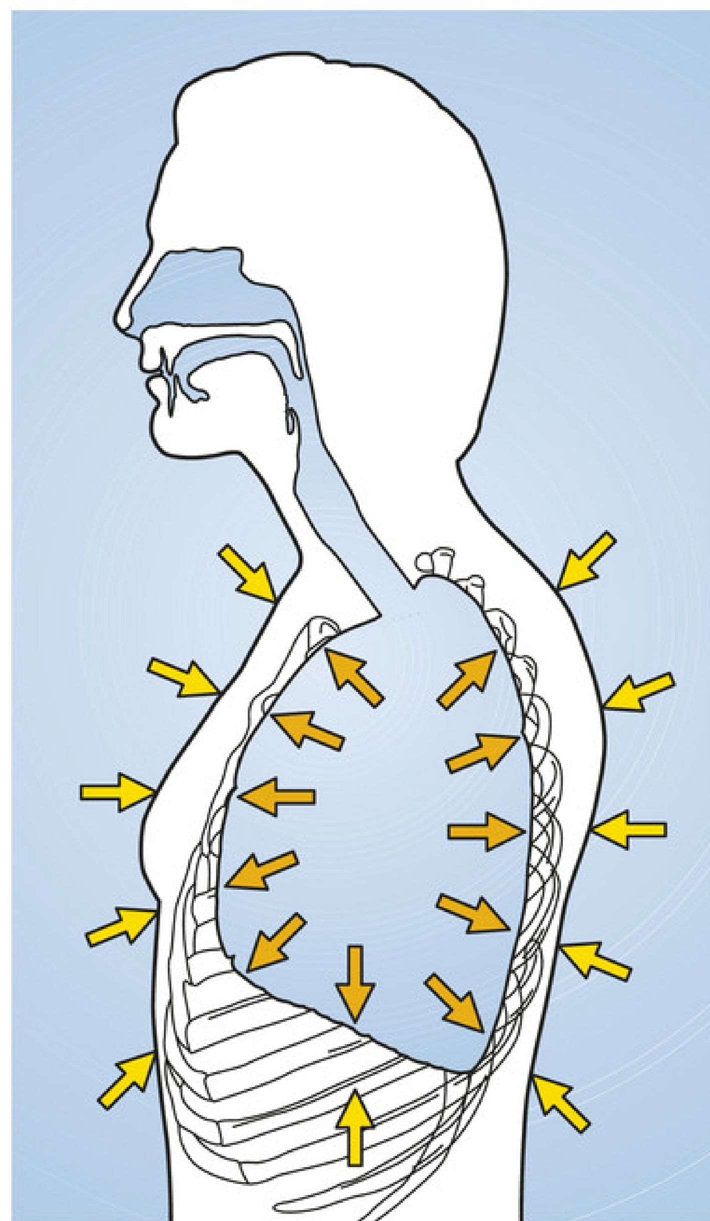
Zolang er nog lucht in de halve bollen zit, kun je ze zonder moeite van elkaar af halen. De lucht in de bollen zorgt voor een tegendruk die even groot īs als de luchtdruk van buitenaf (figuur 10a). De luchtdruk en de tegendruk heffen elkaar dan op.

Als je de lucht tussen de halve bollen wegpompt, dan verdwijnt daar de druk. Er is nu geen tegendruk meer. Alleen de luchtdruk van buitenaf blijft over. Die druk komt niet alleen van boven maar van alle kanten. Door deze druk worden de halve bollen stevig tegen elkaar gedrukt (figuur 10b).

Je merkt pas iets van de luchtdruk als de luchtdruk en de tegendruk niet even groot zijn. Dat geldt ook voor jezelf. In je lichaam zijn er verschillende (min of meer) holle ruimtes, zoals je longen. Toch wordt je borstkas niet door de luchtdruk in elkaar gedrukt. Dat komt doordat je longen gevuld zijn met lucht. Die lucht zorgt voor een tegendruk die even groot is als de luchtdruk van buitenaf (figuur 11).



▲ **figuur 10**
De tegendruk verdwijnt als de lucht tussen de halve bollen wordt weggepompt.



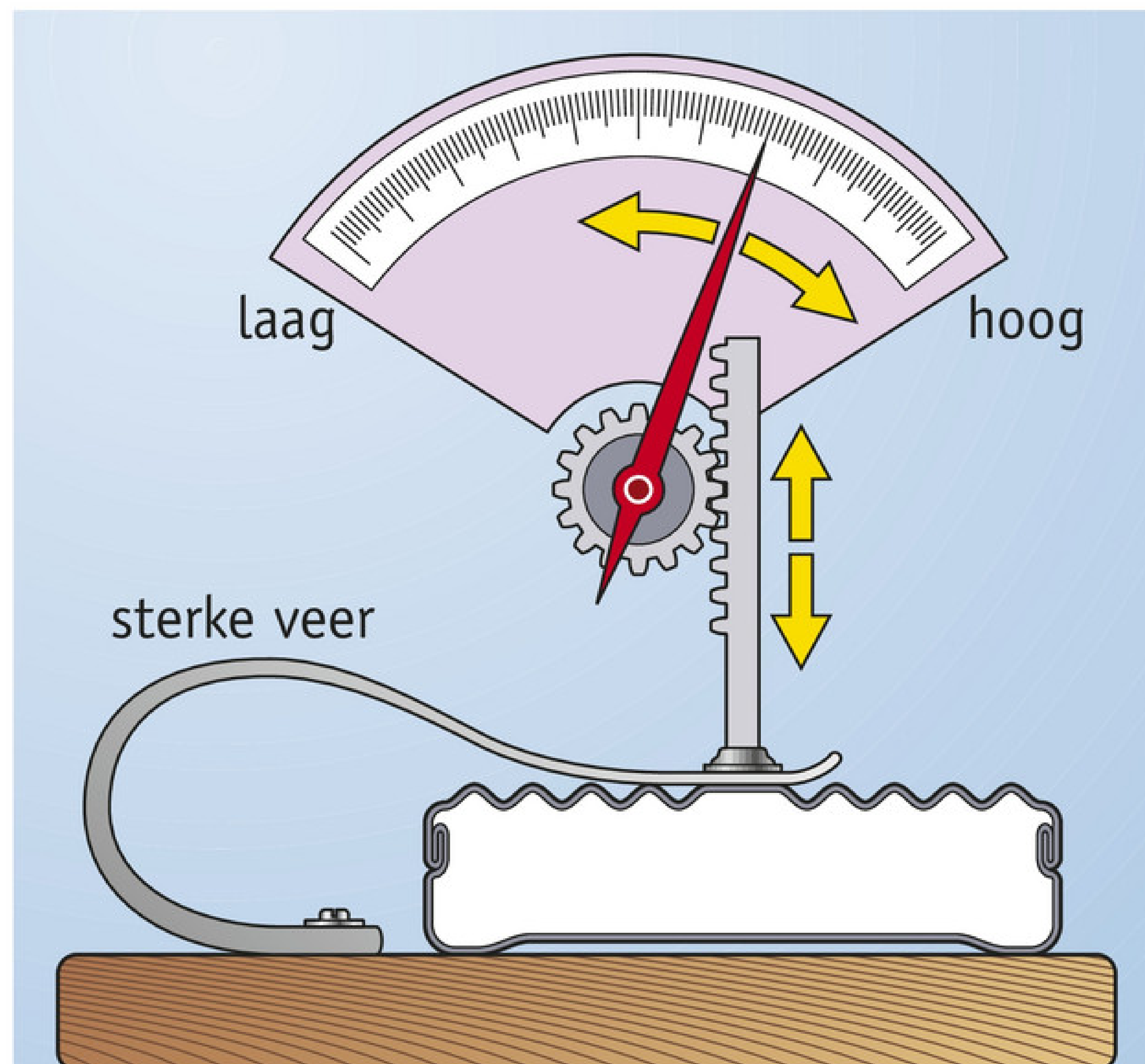
▲ **figuur 11**
De tegendruk in je longen voorkomt dat je borstkas wordt ingedrukt.

Barometers

Met een barometer kun je meten hoe groot de luchtdruk is. In figuur 12 zie je een **barometer** (van het Griekse *baros* = zwaar). In deze metaalbarometer zit een metalen doosje waar de lucht grotendeels uitgepompt is. Een sterke veer zorgt ervoor dat de luchtdruk het doosje niet helemaal plat kan drukken. De boven- en de onderkant van het doosje zijn geribbeld en erg dun, en kunnen daardoor gemakkelijk op en neer bewegen.



▲ **figuur 12**
een barometer



▲ **figuur 13**
Zo werkt een metaalbarometer (schematisch).

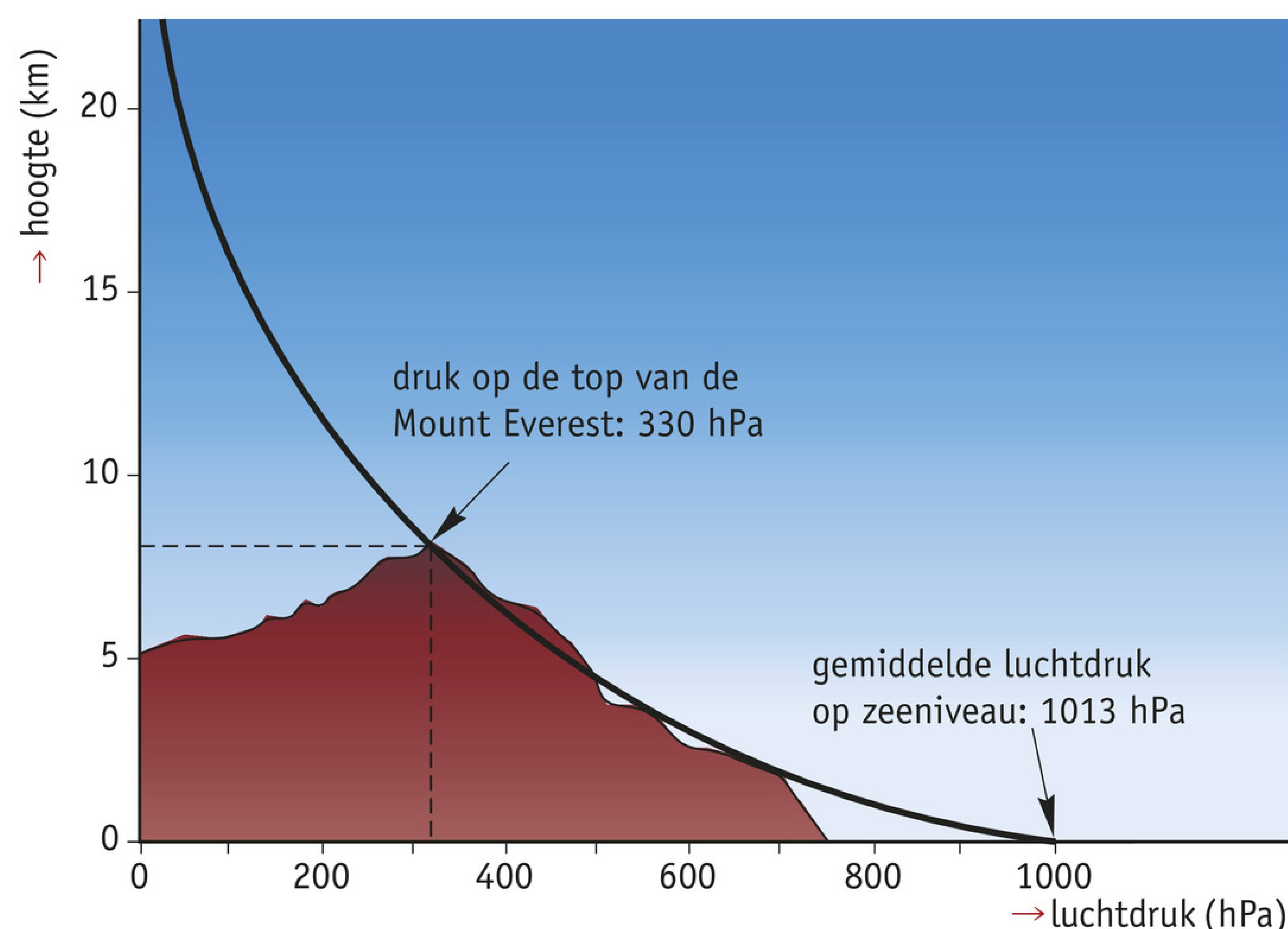
Als de luchtdruk groter wordt, zal het doosje een beetje meer in elkaar worden gedrukt en gaat de bovenkant van het doosje iets naar beneden. Als de luchtdruk kleiner wordt, gebeurt het omgekeerde. De bewegingen van de bovenkant van het doosje worden overgebracht op een wijzer. Deze geeft de grootte van de luchtdruk aan op een wijzerplaat (figuur 13).

Digitale barometers werken met een druksensor. Een veelgebruikte druksensor werkt met een piëzo-elektrisch kristal. Het bijzondere van zo'n kristal is dat het een elektrische spanning over de uiteinden krijgt als je er druk op uitoefent. Hoe groter de druk, des te groter de spanning. Die spanning kun je dan gebruiken om de luchtdruk te berekenen en weer te geven op een schermpje.

De grootte van de luchtdruk

De eenheid van druk is de pascal (Pa). In het weerbericht wordt de luchtdruk opgegeven in hectopascal (hPa). Onthoud: 1 hPa = 100 Pa. De gemiddelde luchtdruk op zeeniveau is 1013 hPa. Op barometers en weerkaartjes wordt de luchtdruk vaak aangegeven in de eenheid millibar (mbar). Dat maakt voor de getallen niet uit, want 1 millibar is precies even groot als 1 hectopascal.

De luchtdruk neemt af met de hoogte: hoe hoger je komt, des te lager is de luchtdruk (figuur 14). Dat komt doordat de hoeveelheid lucht boven je hoofd steeds kleiner wordt als je omhoog gaat. Op 5,5 km boven zeeniveau ligt de helft van de moleculen in de atmosfeer al beneden je. Op die hoogte is de druk de helft van de druk op zeeniveau.



▶ **figuur 14**
het verband tussen de hoogte en de luchtdruk

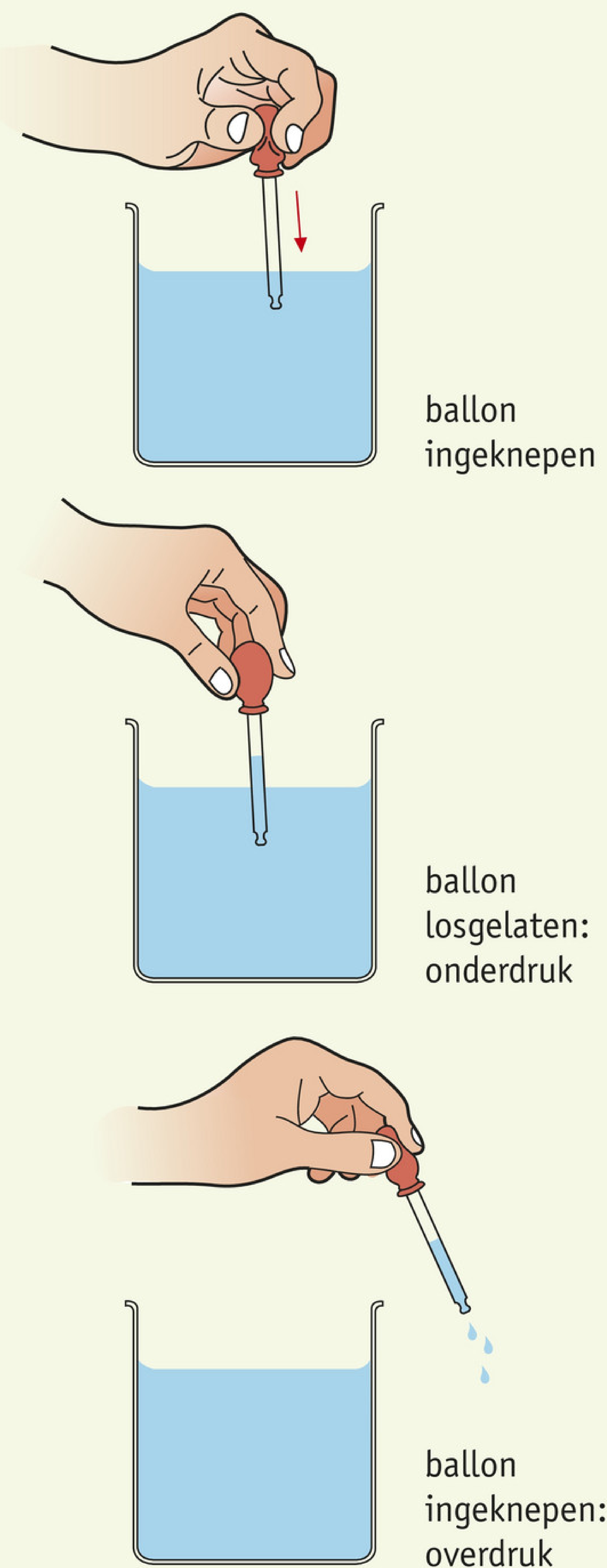
De luchtdruk heeft ook invloed op de hoogte van het kookpunt. Op zeeniveau zijn de waterdampbellen pas bij 100 °C sterk genoeg om niet meer door de luchtdruk in elkaar geperst te worden. Dan gaat het water koken.

Bij een lagere luchtdruk zijn de waterdampbellen al bij een lagere temperatuur sterk genoeg. De vloeistof kookt dan dus bij een lagere temperatuur.

In de tabellen vind je het kookpunt altijd bij 1013 hPa. Het kookpunt van water is bij die luchtdruk 100 °C. Op 5,5 km hoogte kookt water al bij 80 °C. Als je dan eten kookt, duurt het veel langer voor het voedsel gaar is.

Plus De pipet: onderdruk en overdruk

Met een pipet kun je heel precies een kleine hoeveelheid vloeistof opzuigen. Bij scheikundig onderzoek is een pipet onmisbaar. Er zijn verschillende soorten pipetten. De simpelste werkt met een ballonnetje (figuur 15). Je knijpt eerst de lucht uit het ballonnetje. Daarna steek je de punt in een vloeistof en je laat het ballonnetje los. Er ontstaat dan **onderdruk** in het ballonnetje en de luchtdruk duwt de vloeistof in de pipet.
Als je daarna de pipet uit de vloeistof haalt en weer in het ballonnetje knijpt, dan maak je **overdruk** in de ballon. De druk in de ballon is groter dan de druk van de lucht bij het uiteinde van de pipet. Daardoor spuit de opgezogen vloeistof eruit.
De pipetten die onderzoekers in een laboratorium gebruiken hebben vaak een zuigertje (figuur 16). Dat druk je in met je duim en als het zuigertje weer omhoog komt, ontstaat er een onderdruk. Moderne pipetten kun je instellen op een bepaald volume. Zo weet je zeker dat je bijvoorbeeld 1 milliliter of 1 microliter (een duizendste milliliter) opzuigt.



▲ **figuur 15**
de werking van een pipet met ballonnetje

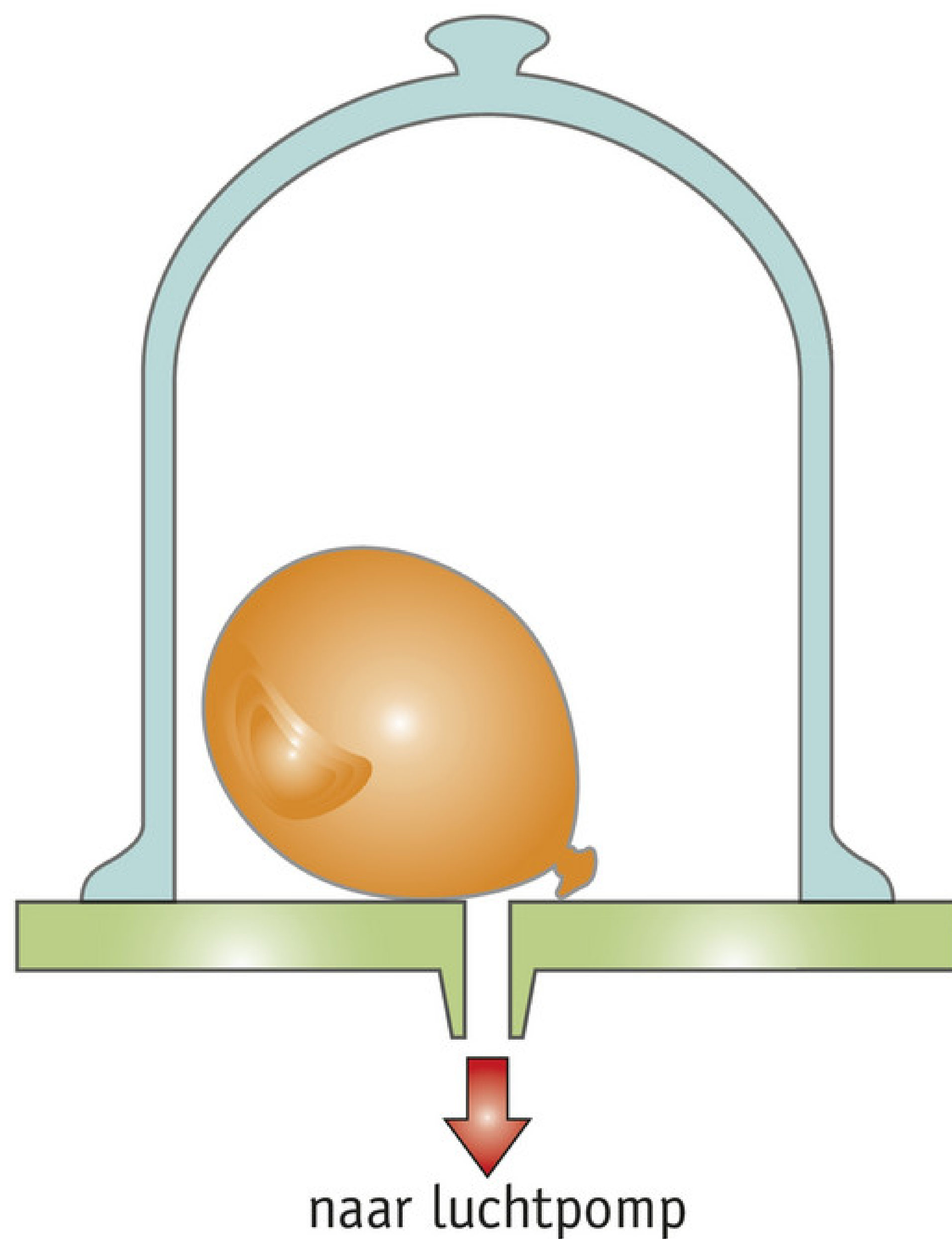


◀ **figuur 16**
een pipet met meerdere 'kanalen' voor gebruik in een laboratorium

opgaven

13 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat is de oorzaak van de druk die de atmosfeer op je uitoefent?
- **b** Met welk meetinstrument kun je de hoogte van de luchtdruk meten?
- **c** In welke twee eenheden wordt de luchtdruk op weerkaarten aangegeven?

14 Alle lucht boven je heeft bij elkaar een flink gewicht. Het gewicht dat op je borstkas drukt, is ruwweg even groot als dat van een flinke personenauto. Hoe komt het dat je borstkas toch niet in elkaar wordt gedrukt? Licht je antwoord toe met een schets.

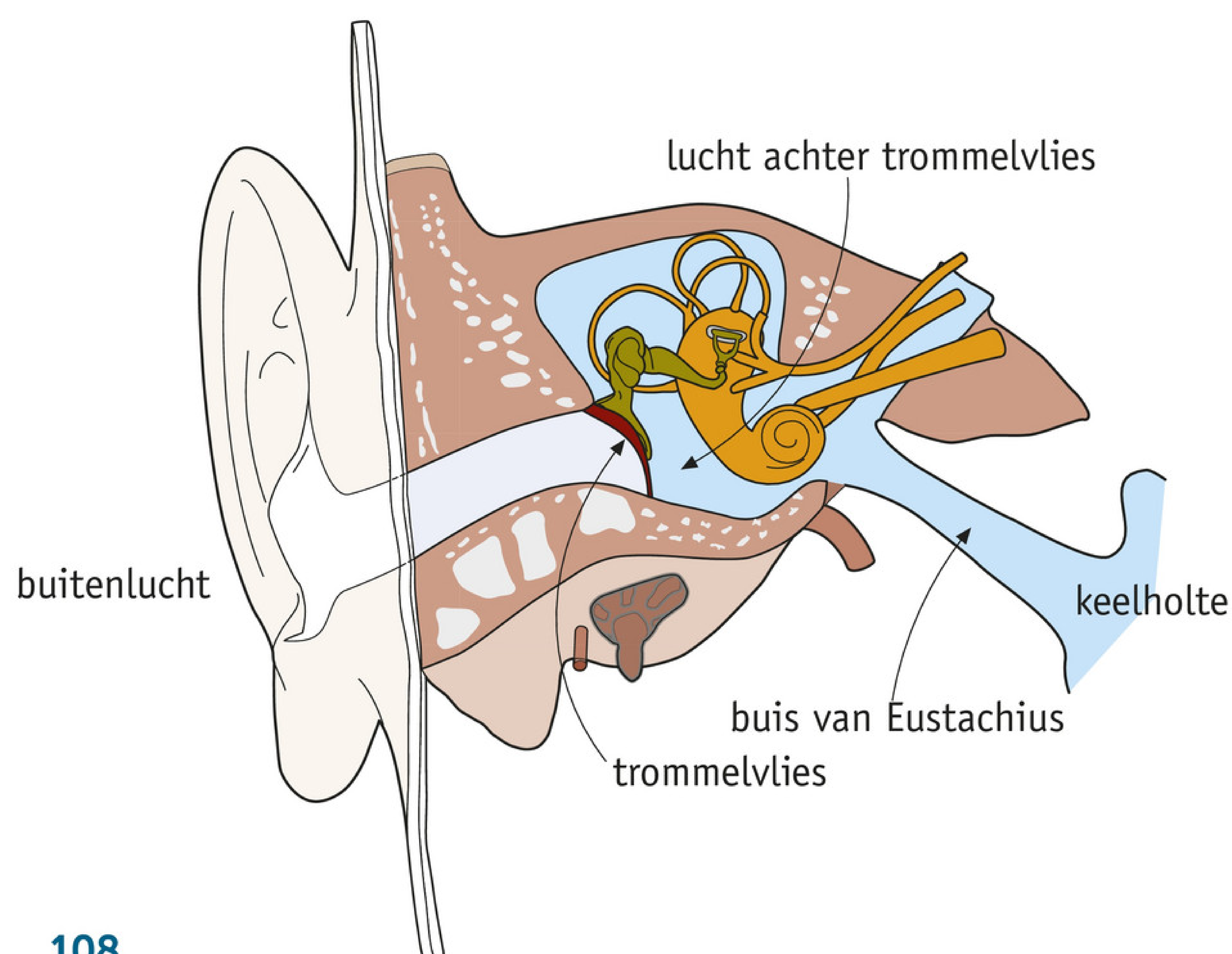


▲ **figuur 17**
een proef met een half opgeblazen ballon

15 Jesse legt een half opgeblazen ballon onder een glazen stolp. Daarna zet hij een luchtpomp aan die de lucht onder de stolp wegpompt (figuur 17).
- **a** Hoe ziet de ballon eruit als (bijna) alle lucht onder de stolp is weggepompt?
- **b** Geef hiervoor een verklaring. Gebruik de woorden 'luchtdruk' en 'tegendruk'.

16 Jesse heeft een ballon opgeblazen en dichtgeknoopt. Zijn vriendin Tessa en hij zijn het niet eens over de druk in de ballon. Jesse zegt: "De druk in de ballon kan nooit groter zijn dan de druk in de buitenlucht. Anders zou de ballon steeds groter worden tot hij knapt." Tessa zegt: "De druk in de ballon is zeker groter dan de druk van de buitenlucht. Anders zou de wand van de ballon niet uit kunnen rekken."
Wie heeft volgens jou gelijk? Leg uit waarom je dat denkt.

17 Als je met een auto bergop rijdt, kun je last van je oren krijgen. Er is dan een drukverschil tussen de buitenlucht en de lucht achter het trommelvlies (figuur 18).
- **a** Aan welke kant van het trommelvlies is de druk dan het grootst?
- **b** Boven op de berg zullen je oren na een tijdje weer 'normaal' zijn. Als je vervolgens naar beneden gaat, kunnen je oren weer pijn gaan doen. Aan welke kant van het trommelvlies is de druk nu het grootst?
- **c** Als de buis van Eustachius verstopt is, merk je drukverschillen het best. Leg uit hoe dat komt.



▶ **figuur 18**
een oor in doorsnede

18 Stel dat de luchtdruk langzaam groter wordt. In welke richting zal de wijzer van de barometer van figuur 13 bewegen?

***19** De luchtdruk neemt af als je hoger komt.
- **a** Hoe groot is de gemiddelde atmosferische druk op zeeniveau?
- **b** Op welke hoogte is de luchtdruk nog maar 20% van de druk op zeeniveau (figuur 14)?
- **c** Vliegtuigen moeten stevig gebouwd zijn, omdat de luchtdruk buiten veel kleiner is dan in de cabine. Die luchtdruk is een stuk kleiner dan op de grond.
  Waarom zou men de druk in de cabine niet even groot maken als die op de grond?

20 Ed gaat een berg beklimmen. Voor zijn tocht heeft hij een zakje chips gekocht. Op de top van de berg blijkt dat het zakje bol is gaan staan. Geef hiervoor een verklaring.

21 Zoek op internet informatie over de hoogtemeter in een vliegtuig.
- **a** Hoe werkt de drukhoogtemeter die in veel vliegtuigen gebruikt wordt?
- **b** In welke eenheid wordt de vlieghoogte internationaal uitgedrukt?
- **c** Ten opzichte van welk niveau wordt de vlieghoogte gemeten?
- **d** Waarom geeft de verkeersleiding voor vertrek de plaatselijke luchtdruk door?

***22** Bij deze opgave heb je werkblad 4-1 nodig.
Rheza heeft bij een prijsvraag een ballonvaart gewonnen. Voor ze vertrekken, vertelt de piloot dat hij de hoogte van de ballon bepaalt met een barometer aan boord. Als vuistregel geldt dat een drukverschil van 10 mbar overeenkomt met een hoogteverschil van 80 m.
In tabel 1 zie je hoe de druk de eerste vijf minuten van de ballonvaart afneemt.
- **a** Neem de tabel over. Bereken de ontbrekende hoogten en noteer ze in de tabel.
- **b** Maak het (hoogte, tijd)-diagram in werkblad 4-1 af.
- **c** Stel dat de luchtdruk aan de grond daalt na het opstijgen van de ballon.
  Is de werkelijke hoogte dan groter of juist kleiner dan je bij a hebt berekend? Leg uit.

▼ **tabel 1** een ballonvaart

tijd (min)	druk (mbar)	hoogte (m)
0	1015	0
1	988	
2	976	
3	970	
4	965	
5	962	
6	961	

***23** La Paz in Bolivia is de hoogst gelegen hoofdstad ter wereld, op 3800 m boven zeeniveau. Aan het leven op deze hoogte moet je je aanpassen. Er is zelfs een speciaal kookboek geschreven voor het koken op grote hoogte.
- **a** Waarvoor zal het kookboek je ongetwijfeld waarschuwen als het over het koken van bijvoorbeeld rijst of aardappels gaat?
- **b** In het kookboek staat: “Houd er rekening mee dat brooddeeg op grote hoogte veel sneller rijst dan op zeeniveau.” Rijzen is het omhoog komen en uitdijen van het deeg.
  Leg uit waardoor dit verschil in rijstijd veroorzaakt wordt.

***24** Een hogedrukpan is een hoge pan met een deksel die met klemmen stevig aan de pan vastgezet kan worden. De pan is bedoeld voor het koken van aardappelen en groenten in water. Tijdens het koken kan de druk in de pan flink oplopen.

- **a** Waardoor neemt de druk in de pan toe als je die op het vuur zet?
- **b** Hoe verandert het kookpunt als de druk stijgt?
- **c** Wat is het voordeel van het koken van voedsel bij een hoge druk?
- **d** Leg uit waarom een hogedrukpan ook wel een snelkookpan wordt genoemd.
- **e** In de deksel van een hogedrukpan zit een veiligheidsventiel. Waarvoor is dat ventiel bedoeld?

Plus De pipet: onderdruk en overdruk

25 Frisdrank drinken met een rietje kun je vergelijken met het ‘opzuigen’ van vloeistof met een pipet.

- **a** Hoe zorg je voor onderdruk in het rietje?
- **b** Leg uit waarom het eigenlijk fout is als je zegt: “De frisdrank komt omhoog door de zuiging van je mond.”

26 Ook bij het oppompen van een fietsband met een fietspomp spelen onder- en overdruk een rol.

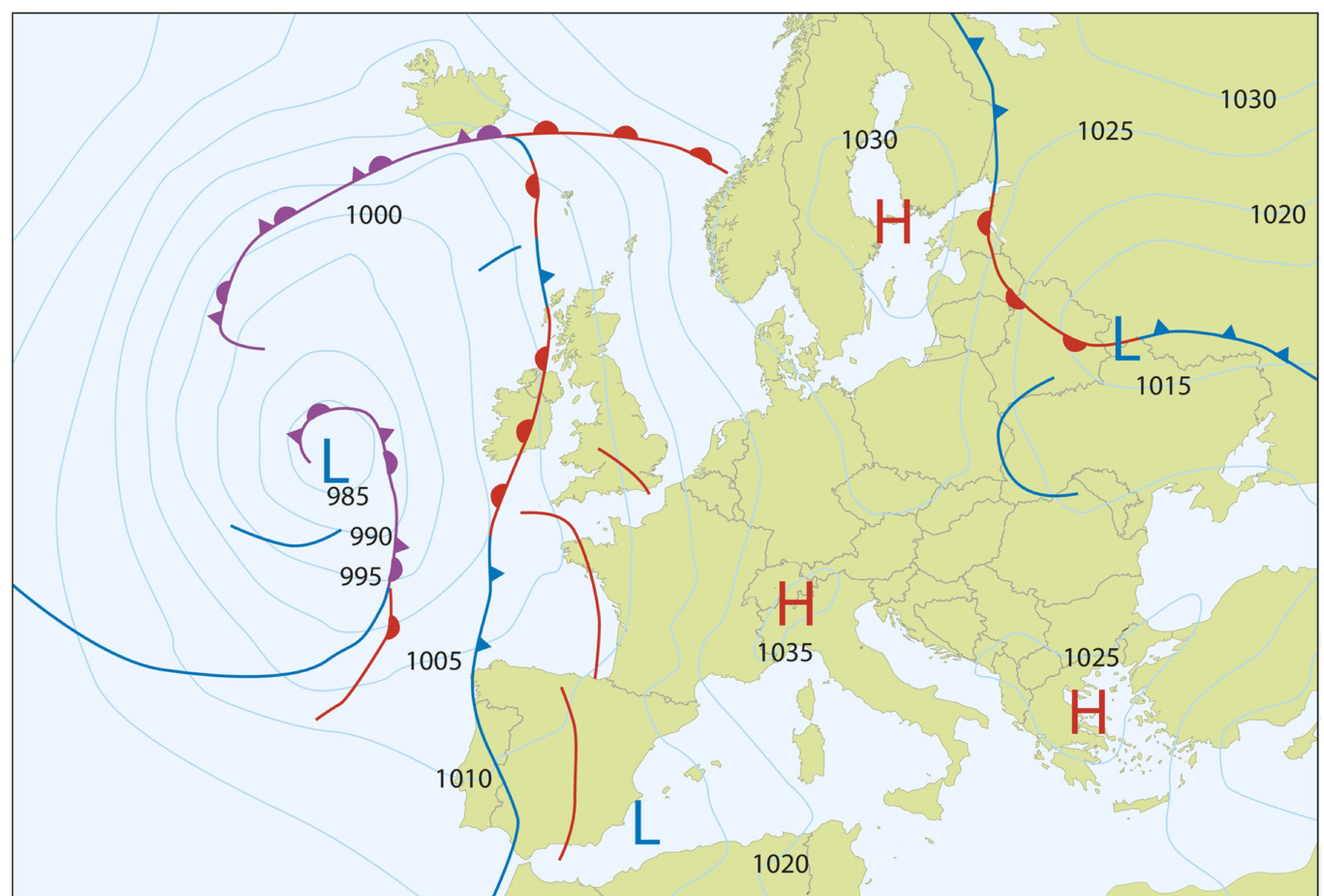
- **a** Is er overdruk of onderdruk in een opgepompte fietsband?
- **b** Leg uit waarom lucht de fietspomp instroomt als je de handel omhoog haalt.
- **c** Leg uit hoe je daarna overdruk maakt.
- **d** Leg uit waarom je steeds harder moet pompen als de band voller wordt. Gebruik daarbij het begrip overdruk.

3 Wind

De luchtdruk verschilt van plaats tot plaats. Als de luchtdruk in Amsterdam 1015 mbar is, kan de druk in Londen best 1020 mbar zijn en in Berlijn 1010 mbar. Door het verschil in luchtdruk komt de lucht in beweging en ontstaat er wind.

Hoge druk en lage druk

Weerkundigen verzamelen metingen van een groot aantal weerstations. Daardoor weten ze hoe groot de luchtdruk overal op de wereld is.
Ze vatten al die gegevens samen door **isobaren** op een weerkaart te tekenen: lijnen die plaatsen met dezelfde druk met elkaar verbinden. Op de weerkaart in figuur 19 is het drukverschil tussen twee opeenvolgende isobaren steeds 5 hPa.
Sommige gebieden op de weerkaart worden helemaal omsloten door een of meer isobaren. Als de luchtdruk in zo'n gebied hoger is dan erbuiten, dan gaat het om een **hogedrukgebied**. Als de luchtdruk in zo'n gebied lager is dan erbuiten, dan heb je te maken met een **lagedrukgebied**. Op een weerkaart krijgen hogedrukgebieden een hoofdletter H, lagedrukgebieden een hoofdletter L.



▶ **figuur 19**
een weerkaart



▲ **figuur 20**
een windvaan (links) en een windsnelheidsmeter (rechts)

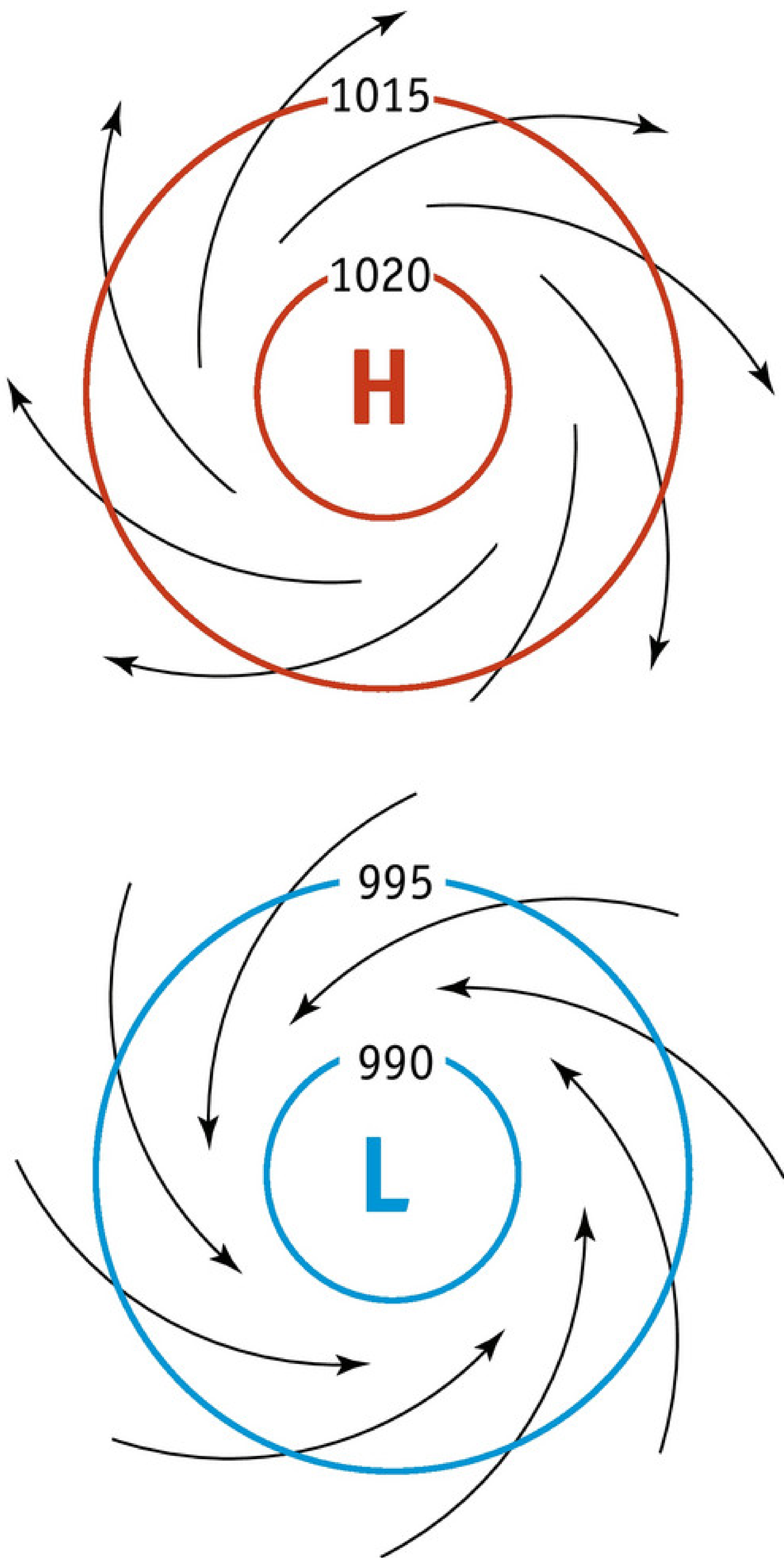
In een hogedrukgebied is het weer meestal rustig en zonnig. In het voor- en najaar bestaat er ook kans op mist. Een lagedrukgebied brengt vaak wisselvallig weer, met veel wind en neerslag. Je kunt een barometer dus gebruiken als hulpmiddel om het weer te voorspellen. Als de luchtdruk stijgt, is dat een aanwijzing dat het weer zal verbeteren. Als de luchtdruk daalt, is de kans groot dat het weer gaat verslechteren.

Windrichting en windsnelheid

Voor weerkundigen zijn de **windrichting** en de **windsnelheid** belangrijke gegevens. De windrichting is de richting waar de wind vandaan komt en die bepaal je met een windvaan. De windsnelheid is de snelheid van de bewegende lucht en die kun je meten met een windsnelheidsmeter (figuur 20). In het weerbericht zie je vaak niet de windsnelheid, maar de windkracht volgens Beaufort. In tabel 2 zie je wat het verband is tussen de windsnelheid in km/h en de windkracht volgens de beaufortschaal.

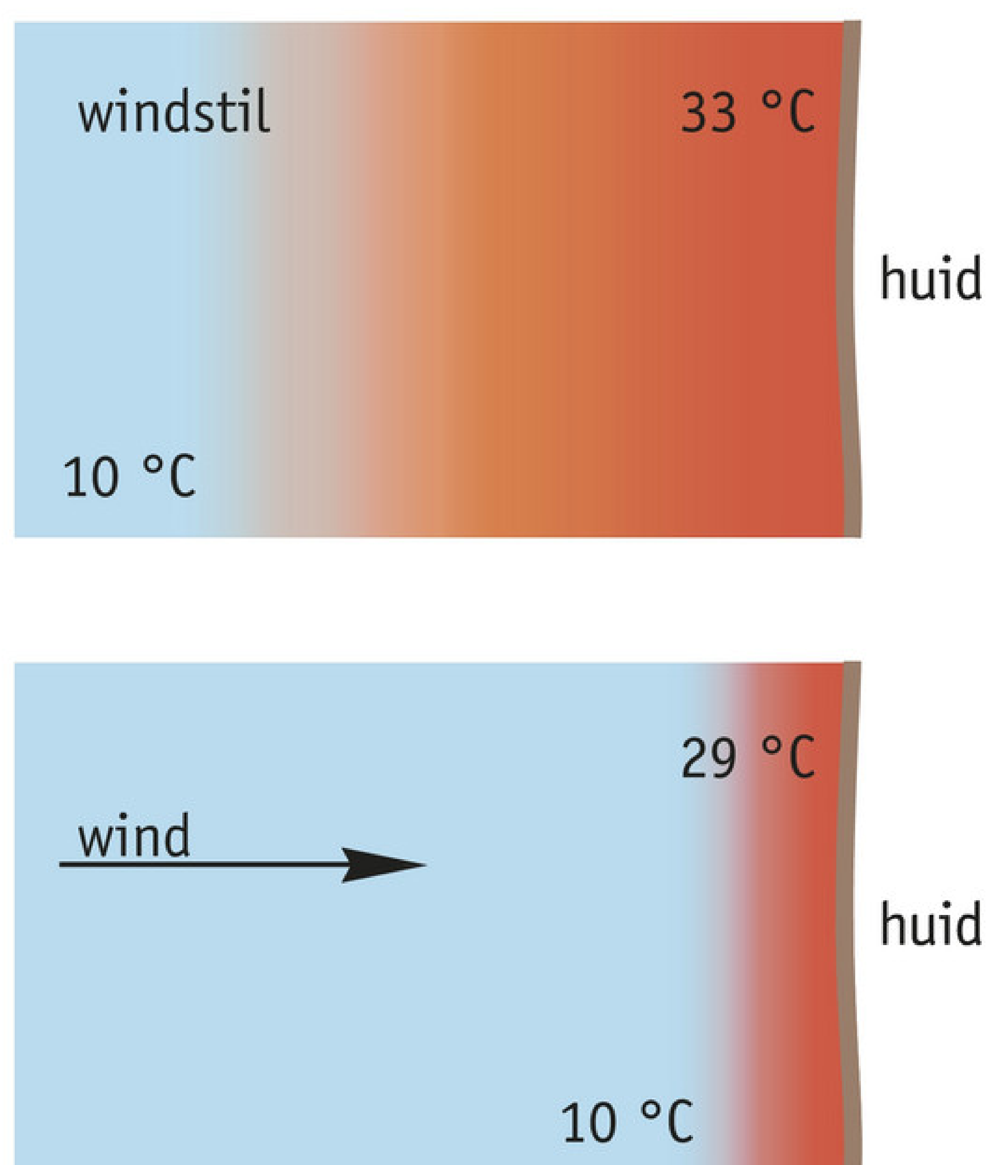
▼ **tabel 2** de schaal van Beaufort

windkracht	gemiddelde windsnelheid (km/h)	benaming
0	< 1	windstil
1	1-5	zwak
2	5-11	zwak
3	11-19	matig
4	19-28	matig
5	28-38	vrij krachtig
6	38-49	krachtig
7	49-61	hard
8	61-74	stormachtig
9	74-88	storm
10	88-102	zware storm
11	102-117	zeer zware storm
12	> 117	orkaan



▲ **figuur 21**
Zo waait de wind op het noordelijk halfrond.

Wind ontstaat door drukverschillen in de atmosfeer. Als de aarde stilstond, zou de lucht rechtstreeks van de plaats met de hoogste luchtdruk naar de plaats met de laagste luchtdruk bewegen. Drukverschillen zouden dan maar kort bestaan. In werkelijkheid draait de aarde een keer per 24 uur om haar as. Daardoor buigt de wind af en gaat die rond een hoge- of lagedrukgebied draaien.
In figuur 21 zie je hoe de wind waait op het noordelijk halfrond. Rond een lagedrukgebied draait de wind tegen de wijzers van de klok in. De wind beweegt in een spiraal naar het centrum van het lagedrukgebied toe. Hoe dichter de isobaren bij elkaar liggen, des te groter is de windsnelheid. Rond een hogedrukgebied stroomt de lucht van het hogedrukgebied vandaan. De wind gaat dan met de wijzers van de klok mee.



▲ **figuur 22**
de temperatuur van de lucht rond het lichaam: boven bij windstil weer, onder als het waait

Wind brengt afkoeling

In noordelijke landen zoals Noorwegen kan het heel koud zijn terwijl er helemaal geen wind waait. Dan kun je bij een temperatuur van –25 °C in een T-shirt een tijdje buiten staan zonder het koud te krijgen. Dat komt doordat het laagje lucht dat direct aan je huid grenst, snel opwarmt. Zo'n laagje warme lucht werkt **isolerend**: het zorgt ervoor dat je lichaam maar weinig warmte kwijtraakt aan de koude buitenlucht. Maar zodra het een heel klein beetje gaat waaien, blaast die wind het luchtlaagje weg. Dan voel je ineens hoe ontzettend koud het is (figuur 22).

Het weerbericht vermeldt 's winters soms, naast de echte temperatuur, ook de **gevoelstemperatuur**. Die geeft aan hoe koud het op dat moment voor je gevoel is. Als het hard waait, voelt –5 °C even koud aan als –18 °C bij rustig weer.

Als je bezweet bent, koel je nog sterker af. Dat komt doordat de wind het zweet op je huid sneller laat verdampen. Het verdampende zweet onttrekt warmte aan je lichaam. Sporters kunnen daarom na een zware wedstrijd gemakkelijk te veel afkoelen. Daarom zie je ze na de finish vaak meteen iets warms aantrekken.

Isoleren met lucht

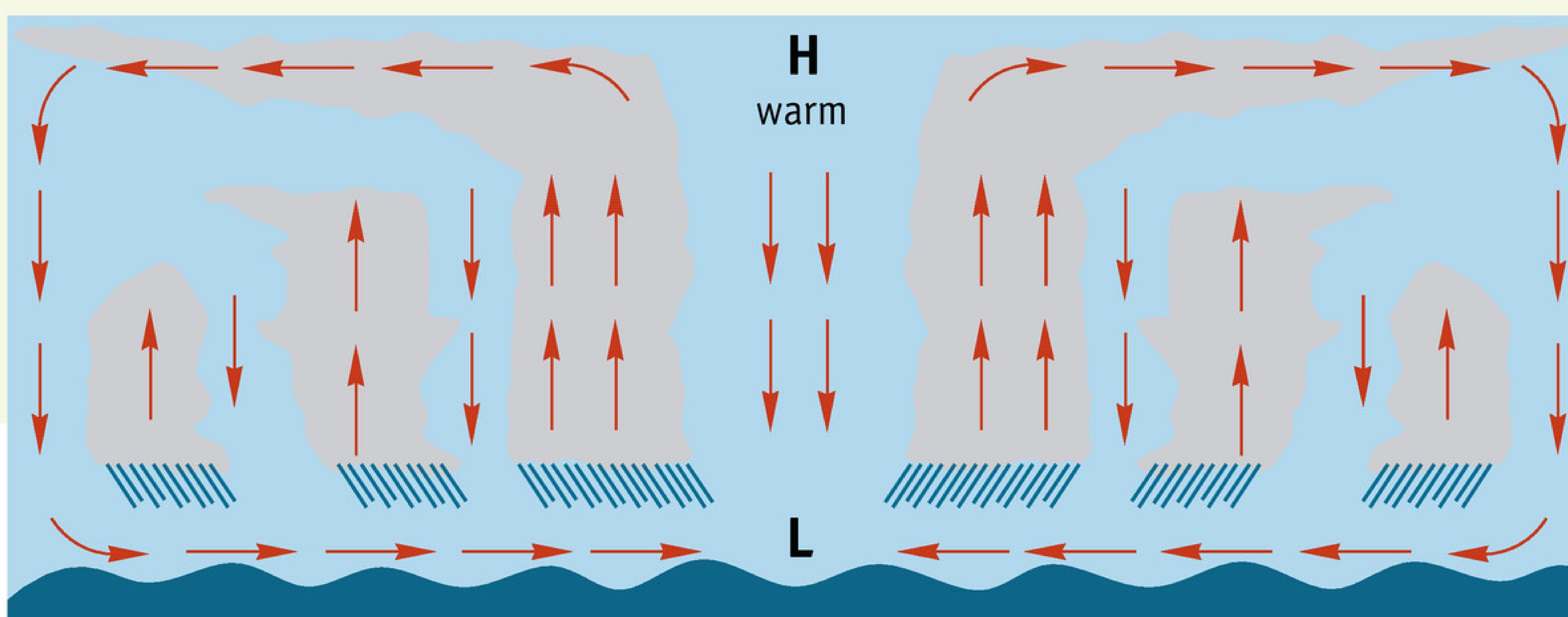
Lucht is een goede **warmte-isolator**. De donsvulling van een windjack houdt je warm omdat hij voor een groot deel uit lucht bestaat (figuur 23). Die lucht vormt een isolerende laag tussen je warme lichaam en de buitenlucht van bijvoorbeeld 10 °C. In de isolatielaag daalt de temperatuur gelijkmatig van circa 30 °C vlak bij je lichaam tot 10 °C aan de buitenkant van de jas.
Doordat de lucht in het dons zit 'opgesloten', kan hij niet gemakkelijk door de wind weggeblazen worden. De buitenkant van een windjack wordt bovendien van een dicht geweven stof gemaakt die de wind effectief tegenhoudt. Daardoor blijft de isolerende luchtlaag rond je lichaam in stand, ook als het stevig waait.



▶ **figuur 23**
Het dons in een windjack isoleert goed door de lucht die erin zit.

Plus Tropische orkanen

Tropische orkanen worden ook wel cyclonen of tyfonen genoemd. Ze zijn een van de heftigste weersverschijnselen. Ze ontstaan als het oceaanwater warm is (> 26 °C) en er onweersbuien zijn. Het begint met een lagedrukgebied hoog bij de wolken. Hierdoor stijgt er warme, zeer vochtige lucht op uit zee. Die lucht koelt af, de waterdamp condenseert en er komen grote hoeveelheden energie vrij. Daardoor koelt de opstijgende lucht minder snel af en stijgt die nog hoger. Er ontstaat dan een krachtig lagedrukgebied aan het zeeoppervlak met als gevolg een harde wind. Door de draaiing van de aarde gaat die wind om het lagedrukgebied heen draaien. Er ontstaat dan een situatie met opstijgende en dalende lucht (figuur 24). Daarbij is er een grote toevoer van warmte vanuit het zeewater, waardoor het steeds harder gaat waaien. De diameter van de cycloon kan wel 4000 km worden. Zodra hij boven land komt valt de energietoevoer weg en wordt de orkaan zwakker.



◀ **figuur 24**
Een cycloon is een 'systeem' van opstijgende en dalende lucht.

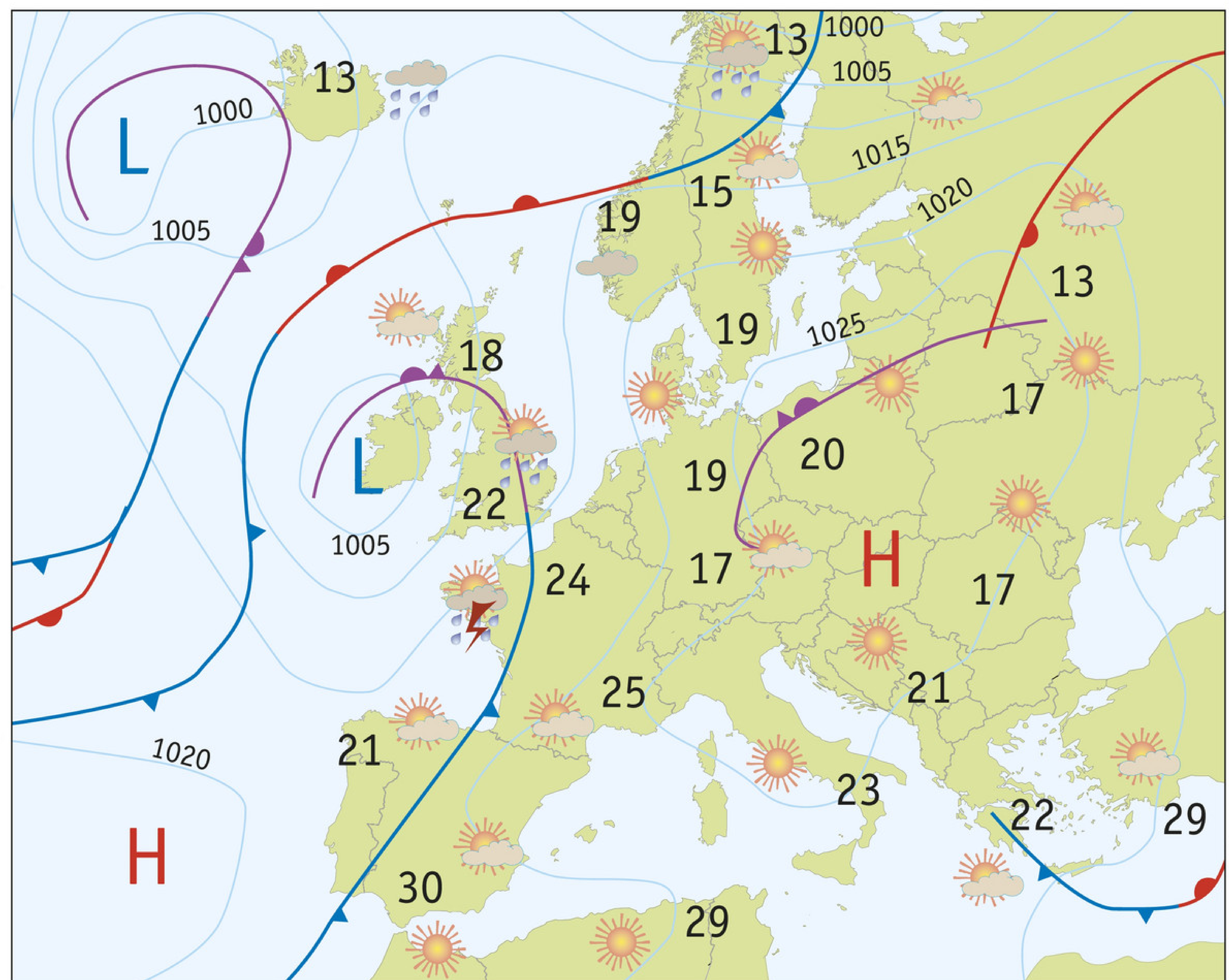
opgaven

27 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Hoe heten de 'lijnen van constante druk' die je op een weerkaart ziet?
- **b** Wat voor weer brengt een hogedrukgebied doorgaans met zich mee?
- **c** Hoe stroomt de lucht op het noordelijk halfrond rond een lagedrukgebied?
- **d** Met welk meetinstrument bepaalt een meteoroloog de windrichting?

28 Bij windstil weer ervaar je de temperatuur al snel als aangenaam.
- **a** Hoe komt het dat je lichaam bij windstil weer maar weinig warmte kwijtraakt?
- **b** Als later op de dag opeens de wind opsteekt, krijg je het wel koud. Noteer twee oorzaken waardoor je lichaam dan meer warmte gaat verliezen.

29 Je kunt een barometer gebruiken als hulpmiddel om het weer te voorspellen.
Wat voor weer wordt het waarschijnlijk als de luchtdruk op één dag:
- **a** stijgt van 1010 naar 1025 hPa?
- **b** daalt van 1010 naar 980 hPa?

30 In figuur 25 is een weerkaartje afgebeeld.
- **a** Waar in Europa is op dat moment een hogedrukgebied?
- **b** Hoe is het weer in dat gebied?
- **c** Waar in Europa is op dat moment een lagedrukgebied?
- **d** Hoe is het weer in dat gebied?
- **e** Hoe hoog is de luchtdruk in Nederland?
- **f** Is dat een hoge, een lage of een gemiddelde waarde?



▶ **figuur 25**
een weerkaart

31 In figuur 26 zie je een satellietfoto van een lagedrukgebied.
- **a** Waaraan kun je zien dat dit een foto is van een lagedrukgebied? Noteer twee dingen.
- **b** Waar bevindt het lagedrukgebied zich: op het noordelijk of op het zuidelijk halfrond? Waaruit maak je dat op?
- **c** Schets in je schrift hoe de wind rond het centrum van het lagedrukgebied draait. Geef dit centrum aan met een hoofdletter L.
- **d** Op een weerkaartje dat op dezelfde dag gemaakt is, liggen de isobaren rond het lagedrukgebied vlak bij elkaar.
  Wat kun je daaruit concluderen over de wind?



▲ **figuur 26**
een satellietfoto van een lagedrukgebied

32 Petra zegt: “Elke stap op de beaufortschaal komt overeen met ongeveer 10 km/h windsnelheid erbij.”
Voor welk deel van de schaal gaat deze bewering op? En voor welk deel niet?



▲ **figuur 27**
een spreeuw in de winter

33 Veel dieren kunnen rond hun lichaam een laag stilstaande lucht vasthouden (figuur 27).

a Wat is de functie van haren op het lichaam van zoogdieren?
b Hoe maakt een vogel de laag stilstaande lucht rond zijn lichaam zo dik mogelijk?

***34** Een huis kun je isoleren met isolatiematerialen zoals glaswol en polystyreen (ook wel 'piepschuim' genoemd). Deze materialen bestaan voor een groot deel uit lucht.
Welk voordeel heeft die lucht als je kijkt naar:

a het doel waarvoor het materiaal wordt gebruikt?
b de dichtheid van het materiaal?
c de prijs van het materiaal?

Plus Tropische orkanen

35 Op het noordelijk halfrond ontstaan orkanen vooral in de maanden augustus, september en oktober.

a Leg uit waarom dat zo is.
b Voor het opbouwen van een orkaan is veel energie nodig. Waar wordt die energie door geleverd?
c Waardoor gaat de wind om het lagedrukgebied van een orkaan draaien, in plaats van er recht op af te stromen?
d Leg uit waarom een orkaan op land zo snel in kracht afneemt.

36 Vanuit de ruimte kunnen orkanen tegenwoordig vrij lang van tevoren worden gesignaleerd.

a Leg uit dankzij welke uitvinding dat kan.
b Een orkaan bestaat vooral uit ronddraaiende lucht en lucht is onzichtbaar. Hoe kunnen orkanen dan toch op luchtfoto's te zien zijn?

4 Wolken en neerslag



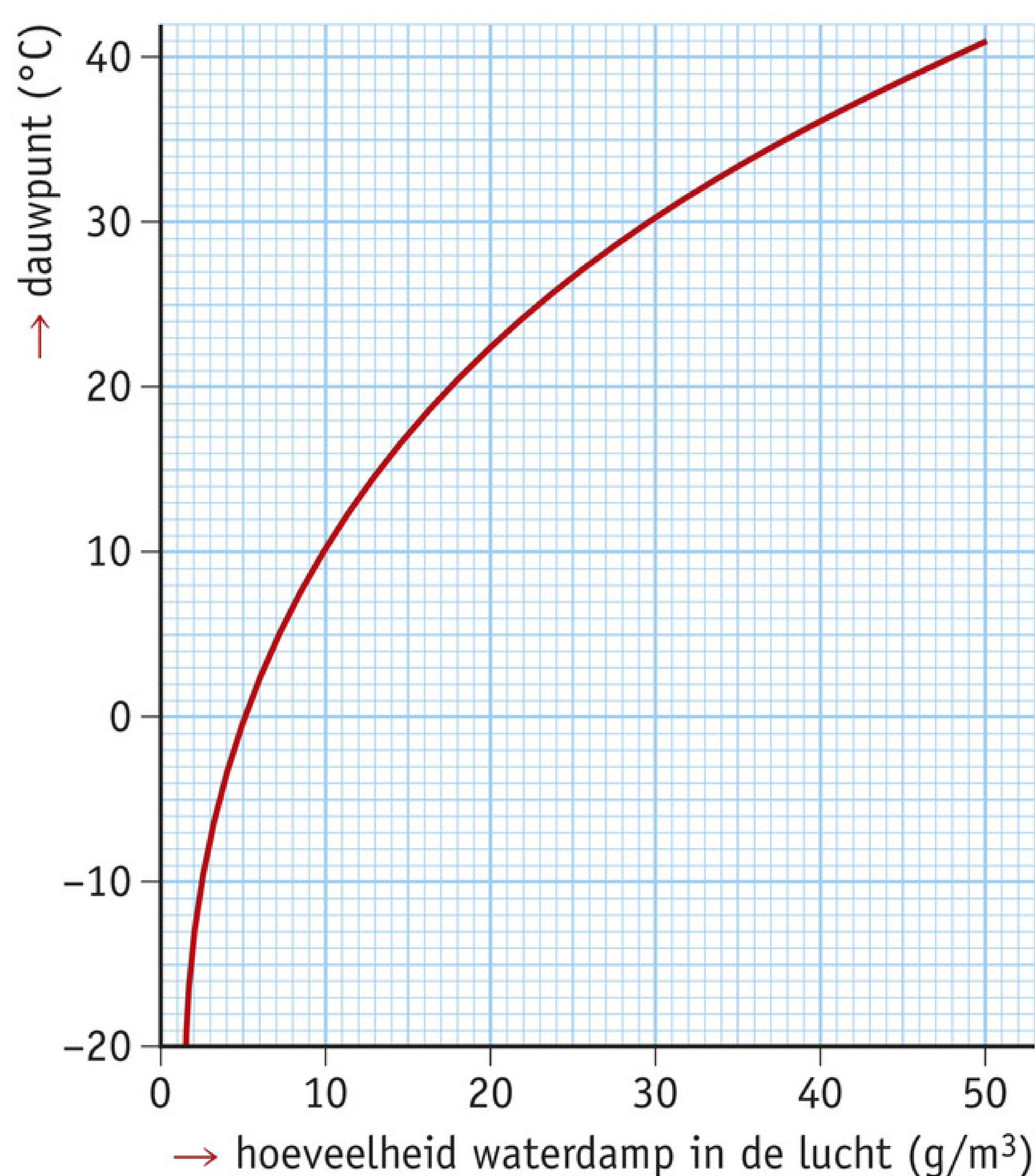
▲ **figuur 28**
Als het warm weer is, drogen natte kleren snel op.

Water is een belangrijk bestanddeel van de atmosfeer. Het komt niet alleen voor als gas, maar ook als vloeistof en als vaste stof. Wolken ontstaan als water in de atmosfeer van fase verandert: van onzichtbare waterdamp in zichtbare waterdruppeltjes of ijskristallen (of een mengsel van die twee).

Waterdamp in de lucht

Als water verdampt, wordt de waterdamp opgenomen door de lucht. Daardoor bevat de lucht om je heen altijd wel waterdamp: de ene keer meer, de andere keer minder. Hoe hoger de temperatuur, des te meer waterdamp kan de lucht bevatten. Daarom blaast een wasdroger warme lucht door het natte wasgoed. Warme lucht neemt het water veel gemakkelijker op dan koude lucht zou doen.

Als het overdag warm weer is, verdampt er veel water. De lucht neemt dan grote hoeveelheden waterdamp op. 's Nachts koelt de lucht weer af. Het teveel aan waterdamp condenseert dan in de vorm van kleine waterdruppeltjes. Die druppeltjes ontstaan vooral op plaatsen waar de lucht in contact komt met een koud oppervlak. Zo ontstaat dauw.



▲ **figuur 29**
het verband tussen de hoeveelheid waterdamp en het dauwpunt

Het dauwpunt

De temperatuur waarbij de waterdamp in de lucht gaat condenseren, wordt het **dauwpunt** genoemd. Die temperatuur is niet altijd even hoog. Hoe meer waterdamp de lucht bevat, des te hoger ligt het dauwpunt. In figuur 29 zie je hoe het verband tussen deze twee grootheden eruitziet. Bevat de lucht 5 g waterdamp per m^3, dan is het dauwpunt 0 °C; bij 7 g waterdamp per m^3 is het dauwpunt 5 °C.

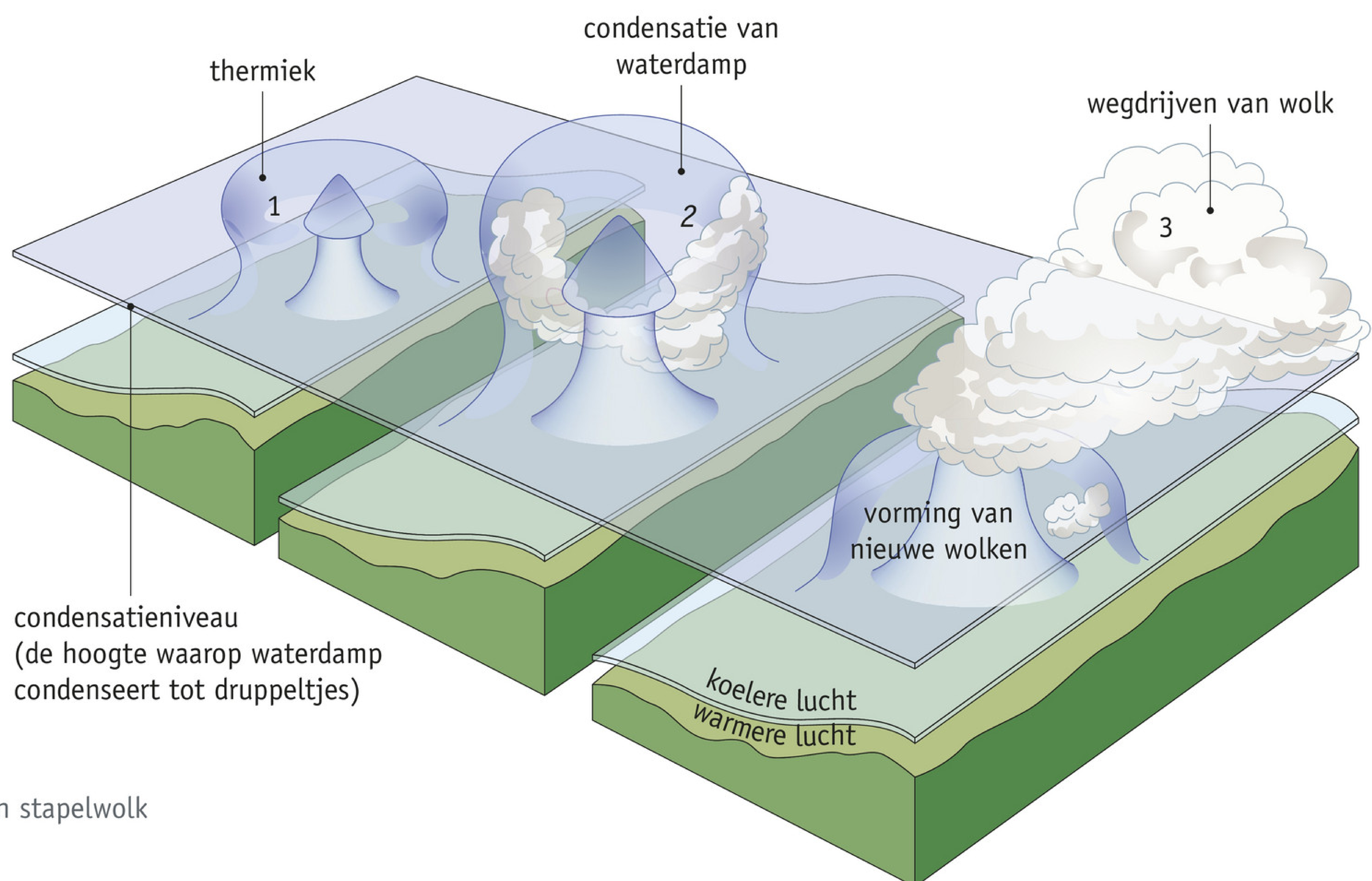
Als het helder weer is zonder wolken, koelt het 's nachts sterk af. De kans is dan groot dat de temperatuur daalt tot onder het dauwpunt. Daarom is het gras na een heldere herfstnacht vaak kletsnat van de dauw.

Het ontstaan van stapelwolken Proef 4 en 5

Als de zon het aardoppervlak verwarmt, wordt de bodem op de ene plaats warmer dan op de andere. Een kale zandvlakte wordt bijvoorbeeld heter dan een bosgebied. Als je op blote voeten rondloopt, kun je dat verschil goed voelen. Op plaatsen waar de grond sterk opwarmt, wordt de lucht vlak boven de grond ook warmer. Daar ontstaat dan een grote bel met warme lucht.

Als lucht opwarmt zet het uit: het volume van de bel wordt groter en daardoor wordt de dichtheid kleiner dan de omringende, koudere lucht. De bel stijgt daardoor op alsof het een onzichtbare heteluchtballon is. Je zegt dan dat er in de lucht een **convectiestroming** ontstaat: een stroming die wordt veroorzaakt door een plaatselijk temperatuurverschil.

De luchtdruk daalt als je hoger komt. Als de luchtbel opstijgt, wordt de luchtdruk om de bel heen dus lager. Dan is de luchtdruk in de bel hoger dan erbuiten en zet de bel dus verder uit. Daardoor daalt de temperatuur in de luchtbel en is op een bepaalde hoogte de temperatuur in de bel lager dan het dauwpunt. De waterdamp in de luchtbel begint vervolgens te condenseren. Er ontstaan heel kleine waterdruppels. De luchtbel stijgt dan verder en de waterdamp blijft op die hoogte condenseren. De luchtbel wordt nu zichtbaar in de vorm van een stapelwolk. Een stapelwolk is aan de onderkant meestal vlak. Daar ligt het **condensatieniveau**: de hoogte waarop de waterdamp begint te condenseren (figuur 30). De top van een stapelwolk laat zien hoe hoog de bel met warme lucht is gestegen.



▲ **figuur 30**
het ontstaan van een stapelwolk

Mooiweerwolken en buienwolken

Hoe hoog een bel met warme lucht stijgt, hangt af van het temperatuurverloop in de atmosfeer. Als de lucht hoger in de atmosfeer relatief warm is, gaat een bel met warme lucht maar langzaam omhoog en bereikt geen grote hoogte. Je krijgt dan een echte mooiweerwolk (figuur 31). Na verloop van tijd verdwijnt zo'n wolk doordat de waterdruppeltjes in de wolk langzaam weer verdampen.



▲ **figuur 31**
mooiweerwolken

Als de lucht hoger in de atmosfeer relatief koud is kunnen bellen met warme lucht een grote hoogte bereiken. Je krijgt dan grote wolken met een donkere onderkant (figuur 32). Door de lage temperatuur beginnen boven in de wolken ijskristallen te groeien. Ze groeien tot ze te zwaar worden om door de opstijgende lucht te worden meegenomen, en vallen dan uit de wolk naar beneden. Als de luchttemperatuur op lagere hoogte boven 0 °C ligt, smelten de ijskristallen voordat ze het aardoppervlak bereiken. In dat geval valt er regen. Als de luchttemperatuur op lagere hoogte onder of op 0 °C ligt, dan bereiken de ijskristallen het aardoppervlak wel zonder te smelten. Dan sneeuwt het.

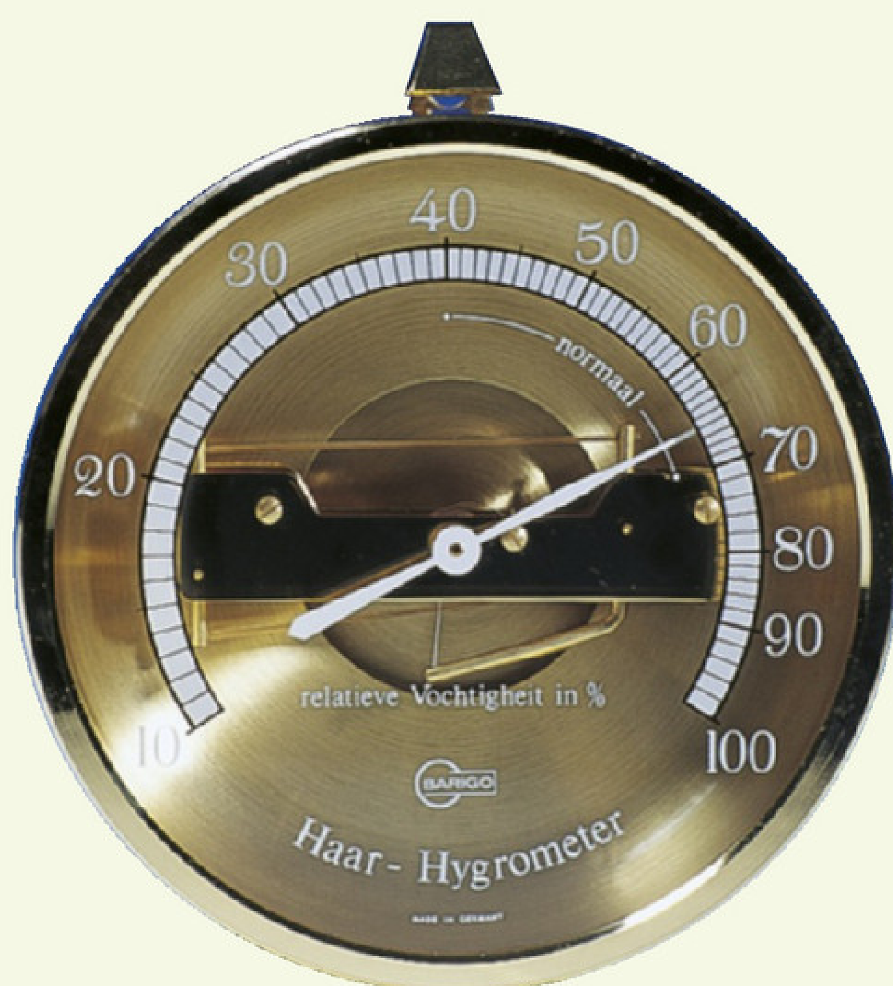
Hagel ontstaat in hevige buien doordat waterdruppels vastvriezen aan ijsdeeltjes. Dat gebeurt alleen in wolken met krachtige opwaartse luchtstromen. In zo'n luchtstroom kunnen de hagelstenen steeds groter worden doordat ze steeds nieuwe waterdruppels tegenkomen. Als ze tenslotte naar beneden vallen, ontstaat er soms veel schade.



▶ **figuur 32**
buienwolken

Plus Luchtvochtigheid

Op een warme dag produceren je zweetklieren veel zweet en om dat te laten verdampen is warmte nodig. Die warmte wordt onttrokken aan je lichaam. Je koelt dus af en hebt minder last van de warmte. Als de lucht weinig waterdamp bevat, verdampt het zweet snel. Je krijgt het dan niet te warm. Als de lucht veel waterdamp bevat, verdampt het zweet langzaam. Je krijgt het dan erg warm en je huid voelt klam aan. Het is dan 'benauwd'.



▲ **figuur 33**
een hygrometer

Met een hygrometer (figuur 33) kun je de **luchtvochtigheid** meten. De schaal op zo'n meter loopt van 0% tot 100%. Een luchtvochtigheid van 100% betekent dat de lucht de maximale hoeveelheid waterdamp bevat. Bij een temperatuur van 29 °C is dat bijvoorbeeld 30 g waterdamp per m^3. In de tropen is de luchtvochtigheid vaak 100% bij een hoge temperatuur. Het weer is dan erg 'drukkend'.
De luchtvochtigheid is 50% als de lucht de helft van de maximale hoeveelheid waterdamp bevat. Bij een temperatuur van 29 °C is dat 50% van 30 g ofwel 15 g waterdamp per m^3.

Voorbeeldopgave
Op een warme zomerdag is het 29 °C. De maximale hoeveelheid waterdamp bij 29 °C is 30 g per m^3. De lucht bevat 12 g waterdamp per m^3.
Bereken de luchtvochtigheid.

De luchtvochtigheid is dus: 12 : 30 = 0,4 en de luchtvochtigheid is dus 40%.

opgaven

37 Neem over en vul in.
- **a** Als het overdag … is, neemt de lucht grote hoeveelheden waterdamp op.
- **b** ’s Nachts condenseert een deel van de waterdamp weer, doordat de lucht …
- **c** De temperatuur waarbij de waterdamp begint te condenseren, noem je het ...
- **d** Hoe meer waterdamp de lucht bevat, des te … ligt het dauwpunt.

38 Stapelwolken beginnen hun bestaan als opstijgende ‘bellen’ warme lucht.
- **a** Wanneer begint de waterdamp in zo’n luchtbel te condenseren?
- **b** Hoe komt het dat je de bel warme lucht voor die tijd niet kunt zien?

39 Lees het weerbericht in figuur 34.
- **a** Door welke fase-overgang ontstaan er stapelwolken?
- **b** Door welke fase-overgang lost de bewolking weer op?
- **c** Hoe komt het dat de wolken pas in de loop van de ochtend verschijnen?
- **d** Hoe komt het dat er juist in een heldere zomernacht kans is op grondmist?

De dag begint met een strakblauwe hemel. In de loop van de ochtend ontstaan de eerste stapelwolken. ’s Middags wisselen zon en schaduw elkaar af bij een temperatuur van 22 à 23 °C. Tegen de avond lost de bewolking weer op. ’s Nachts is het weer helder en kan er hier en daar grondmist ontstaan.

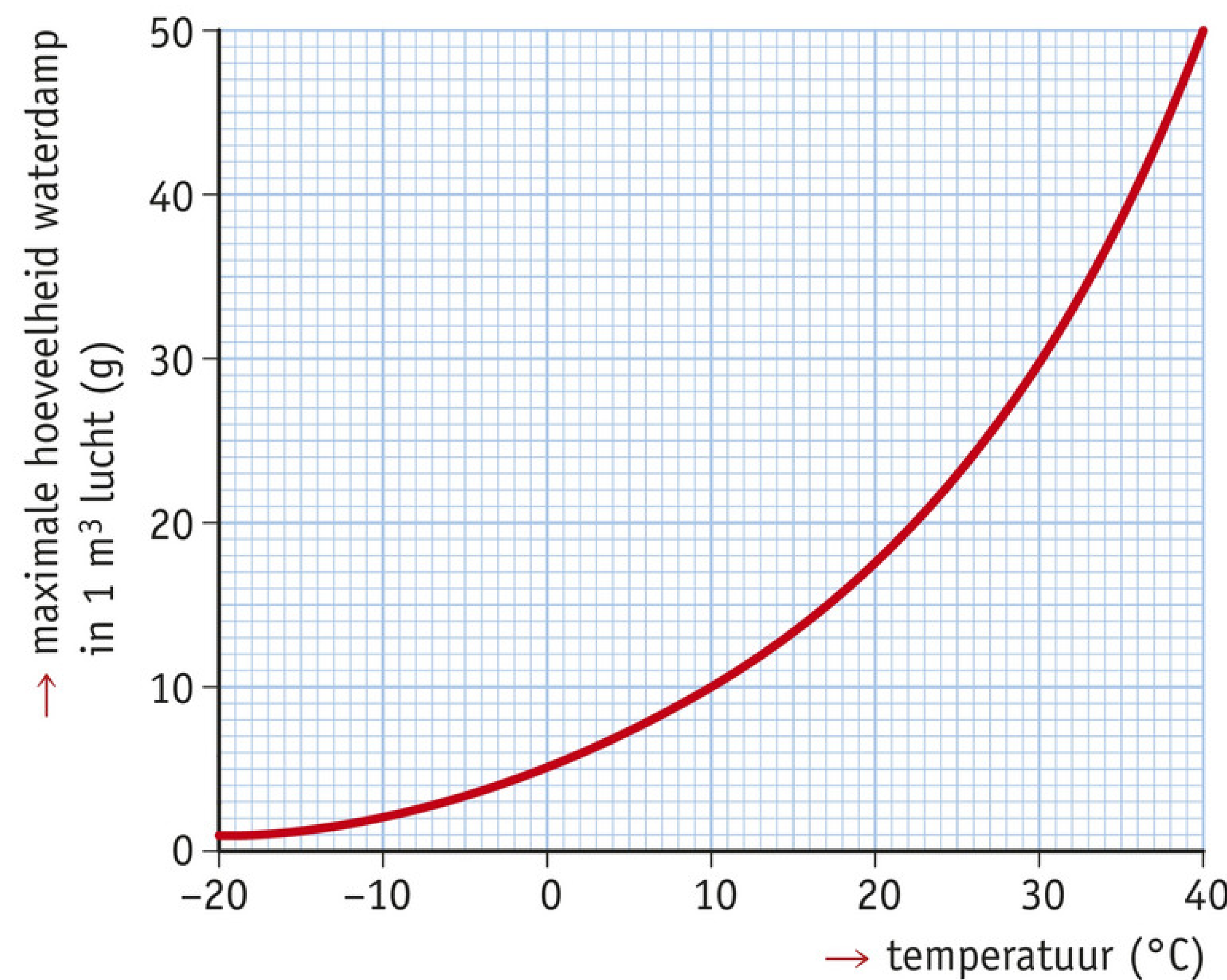
▶ **figuur 34**
een weerbericht

40 Aan het eind van een warme zomermiddag bevat de buitenlucht 16 g water per m^3 lucht. De temperatuur is dan 24 °C. Gebruik voor deze opgave figuur 35.

a Kan deze lucht nog meer waterdamp bevatten? Hoe zie je dat in figuur 35?

b In de loop van de avond en nacht daalt de temperatuur. Bij welke temperatuur zal de waterdamp in de lucht gaan condenseren?

c De temperatuur daalt ten slotte tot 8 °C. Hoeveel gram waterdamp condenseert er uit elke kubieke meter lucht?



▶ **figuur 35**
het verband tussen de temperatuur en de maximale hoeveelheid waterdamp

***41** Weerkundigen laten regelmatig weerballonnen op waaraan een radiosonde met meetinstrumenten hangt.

a Welke meetinstrumenten heb je nodig om het verband te meten tussen de hoogte en de temperatuur?

b De temperatuur van de lucht daalt sterk bij toenemende hoogte. Hoe zit het dan met de kans op buien?

c Het wordt een mooie zonnige dag met weinig bewolking. Hoe zullen de meetgegevens er op die dag uitzien?

***42** Een luchtbel met warme lucht van 22 °C gaat omhoog. Het dauwpunt van deze lucht is 8 °C. Bij elke 100 m stijging daalt de temperatuur van de luchtbel met 0,5 °C.

a Bij welke temperatuur begint de waterdamp in de luchtbel te condenseren?

b Als de waterdamp begint te condenseren, ontstaat het begin van een stapelwolk. Op welke hoogte bevindt zich de onderkant van de stapelwolk?

43 Zoek op internet informatie over het ontstaan van hagel.

a Wat voor weersomstandigheden zijn nodig om hagelstenen te laten ontstaan?

b Hoe komt het dat hagelstenen vaak uit verschillende ijslaagjes zijn opgebouwd?

c Hoe groot kunnen hagelstenen worden en hoe groot is de massa die ze kunnen bereiken?

d Wat is het verschil tussen 'harde' of zomerhagel en 'zachte' of korrelhagel?

Plus Luchtvochtigheid

44 Als het buiten 25 °C is kan het 'mooi zomerweer' zijn, maar ook 'drukkend'.
Waar hangt het van af of je het weer ervaart als aangenaam of als drukkend?

45 Op een hete zomerdag bevat de lucht 18 g waterdamp per m^3. Op zijn hoogst kan de lucht 30 g/m^3 bevatten.
Bereken de grootte van de luchtvochtigheid.

46 In een sauna kan de luchttemperatuur wel 80 °C zijn. Toch hebben de mensen in de sauna daar geen last van.
Geef daarvoor een verklaring.

Practicum

Proef 1 Lucht is niet niks 15 min

Inleiding
Lucht is een onopvallende stof. Je kunt gemakkelijk vergeten dat een leeg glas eigenlijk een glas vol lucht is.

Doel
Bij deze proef zie je dat lucht niet niets is, maar een stof die ruimte inneemt.

Nodig
- ballon
- bekerglas
- kurk of houten blokje
- plastic maatcilinder
- vel papier

Uitvoering en opdrachten
– Beweeg je hand snel door de lucht heen en weer.

1 Wat voel je? Hoe komt dat?

– Blaas de ballon een klein beetje op. Houd het uiteinde met je vingers dicht.

2 Kun je zien dat er iets – een hoeveelheid stof – in de ballon zit?

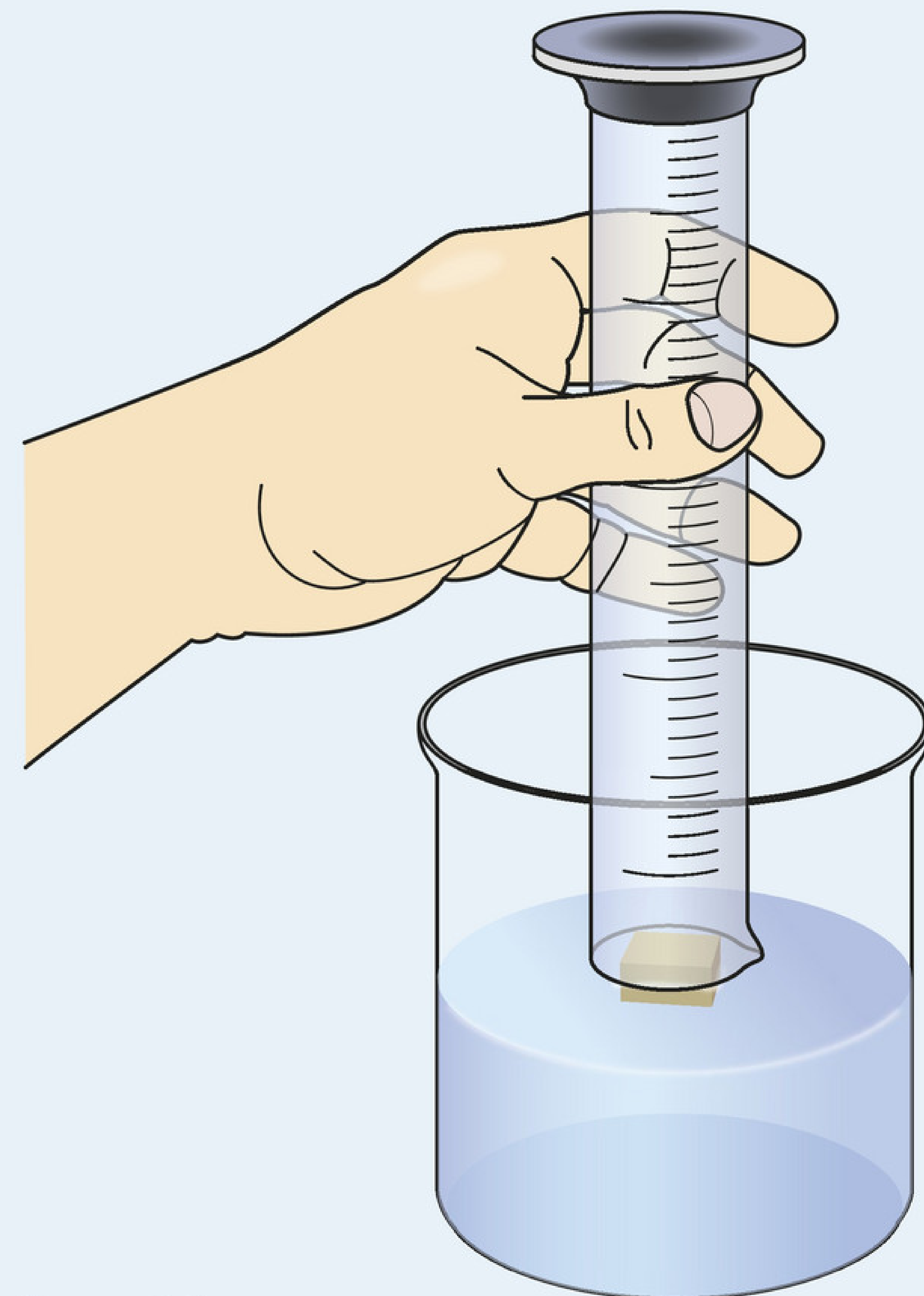
– Blaas de ballon een stukje verder op.

3 Wat kun je zeggen over de hoeveelheid stof in de ballon? Hoe weet je dat?

– Knijp in de ballon.

4 Waardoor ontstaat de stevigheid van de ballon?

– Vul een bekerglas voor de helft met water. Laat de kurk (of het houten blokje) in het water drijven.
– Zet de maatcilinder omgekeerd op het wateroppervlak, met de kurk eronder. Duw de maatcilinder daarna naar beneden (figuur 36).



▲ **figuur 36**
Kijk wat er gebeurt als je de maatcilinder omlaag duwt.

5 Wat gebeurt er met de kurk (of het houten blokje)?
6 Hoe komt dat?

– Haal alles uit het water.
– Duw een prop papier stevig op de bodem van de maatcilinder, zodat hij daar blijft zitten als je de maatcilinder omkeert.
– Keer de maatcilinder om en duw hem helemaal onder water.
– Haal de maatcilinder weer uit het water en voel aan de prop papier.

7 Kijk naar en voel aan de prop papier. Wat valt je op?

8 Hoe verklaar je wat je bij opdracht 7 hebt genoteerd?

Proef 2 Lucht oefent druk uit 15 min

Inleiding
De laag lucht om de aarde oefent druk uit op alles wat zich op aarde bevindt. Vaak merk je daar niet zoveel van, maar met proeven kun je de aanwezigheid van de luchtdruk aantonen.

Doel
Bij deze proef zie je een effect van de luchtdruk in de atmosfeer.

Nodig
- reageerbuis
- maatcilinder
- karton

Uitvoeren en uitwerken
– Vul de reageerbuis tot de rand met water.
– Keer de reageerbuis boven een gootsteen om.

1 Wat gebeurt er?

– Knip een stukje karton af dat de opening van de reageerbuis helemaal kan afsluiten.
– Vul de reageerbuis tot de rand met water.
– Leg het stukje karton voorzichtig bovenop de reageerbuis. Zorg dat er geen lucht onder het papier komt.
– Houd een vinger op het karton en draai de buis om boven de gootsteen.
– Laat het karton los, terwijl je de buis op de kop houdt.

2 Wat gebeurt er?

– Herhaal deze proef met de maatcilinder en een groter stuk karton.

3 Wat gebeurt er nu?
4 Bedenk een verklaring voor wat je gezien hebt.

Proef 3 Luchtdruk en tegendruk 20 minuten

Inleiding
Glaszetters gebruiken vacuümnappen om grote en zware ruiten op te tillen. Ze maken daarbij gebruik van het verschil tussen de luchtdruk buiten en de geringe tegendruk onder de vacuümnap.

Doel
Je gaat onderzoeken hoe zuignappen werken.

Nodig
- twee grote vacuümnappen
- houder voor smartphone of navigatieapparaat met zuignap
- zuignap voor een handdoek
- plaatje met een ruw oppervlak

Uitvoeren en uitwerken
– Druk de grote vacuümnappen stevig op elkaar.
– Probeer de nappen van elkaar te trekken.

1 Wat merk je?

– Druk de twee vacuümnappen stevig op een tafel.
– Probeer de tafel op te tillen aan de vacuümnappen (figuur 37).



▲ **figuur 37**
Til de tafel voorzichtig een klein stukje op.

2 Leg uit hoe zo'n vacuümnap werkt. Gebruik de begrippen 'luchtdruk' en 'tegendruk'.

- Druk de zuignap van de mobielhouder op de tafel, zonder de hendel te gebruiken.
- Trek de zuignap los.

3 Wat voel je?

- Druk de zuignap opnieuw op de tafel, maar gebruik de hendel nu wel.
- Trek de zuignap los.

4 Wat is het verschil met de vorige keer, toen je de hendel niet gebruikte?
5 Leg uit wat de functie van de hendel is.

- Druk de zuignap voor de handdoek op de tafel. Controleer of hij goed vast zit door er aan te trekken.
- Trek een klein stukje van de rand van de zuignap omhoog.
- Ga hiermee door tot de zuignap loslaat.

6 Waardoor laat de zuignap op een gegeven moment los?

- Druk de zuignap op de plaat met het ruwe oppervlak.

7 Blijft de zuignap nu vast zitten? Leg uit hoe dit komt.

Proef 4 Lucht verwarmen en afkoelen 15 min

Inleiding
Bij veel weersverschijnselen speelt lucht die verwarmd wordt of afkoelt een belangrijke rol.

Doel
Bij deze proef ga je kijken wat er gebeurt als je de lucht in een ballon en een fles verwarmt en afkoelt.

Nodig
- plastic waterfles
- ballon
- bak met warm water
- bak met ijswater
- kan met heet water

Uitvoeren en uitwerken
- Blaas de ballon een klein beetje op en knoop hem dicht.
- Leg de ballon in het warme water.

1 Wat zie je gebeuren? Hoe komt dat?

- Leg de ballon in het koude water.

2 Wat zie je gebeuren? Hoe komt dat?

- Schenk voorzichtig ongeveer 10 cm heet water in de plastic fles.
- Draai de dop op de fles en schud de fles 15 seconden flink op en neer.
- Draai de dop van de fles en giet het hete water eruit.
- Draai meteen daarna de dop weer stevig op de fles.

3 Beschrijf wat je nu ziet gebeuren. Hoe komt dat?

4 Voorspel wat er zal gebeuren als je de fles in het koude water legt.

- Controleer of je voorspelling klopt.

5 Voorspel wat er zal gebeuren als je de fles in het warme water legt.

- Controleer of je voorspelling klopt.

Proef 5 Convectiestroming in lucht 15 min

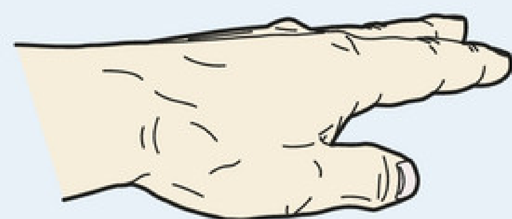
Inleiding
Als je lucht op één plaats verwarmt, zal de lucht op die plaats gaan uitzetten. De warme lucht is 'lichter' dan de koude lucht eromheen en dat merk je.

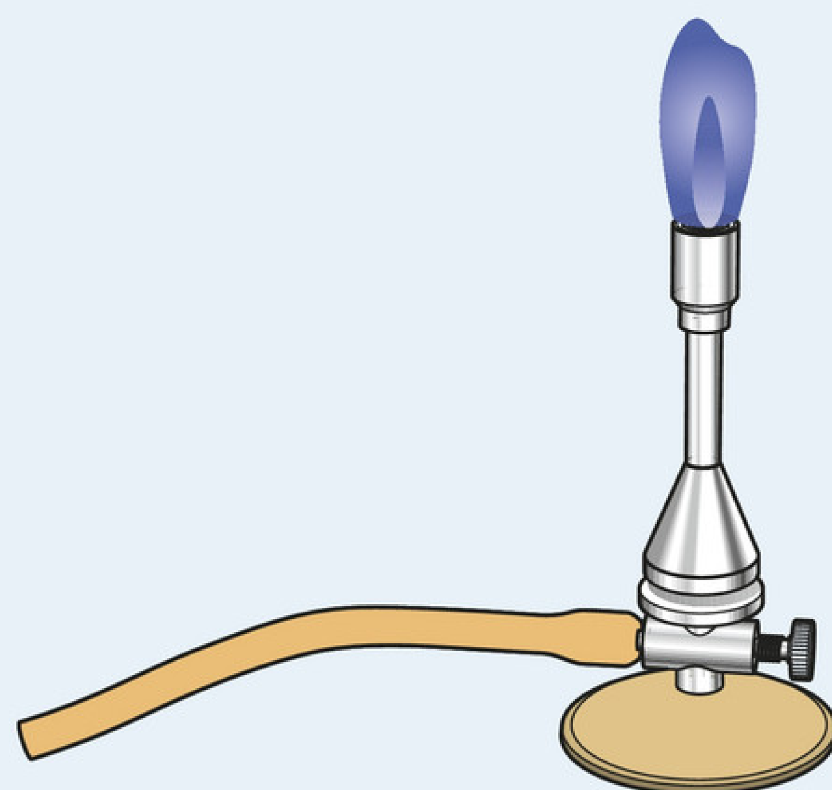
Doel
Bij deze proef onderzoek je de aanwezigheid van een convectiestroming.

Nodig
- brander
- driepoot
- gaasje
- touwtje
- werkblad 4-2

Uitvoeren en uitwerken
– Pak werkblad 4-2 erbij. Knip de spiraal uit. Maak het touwtje vast bij A.
– Laat de brander branden met een kleine blauwe vlam.
– Houd je hand 30 cm boven de vlam (figuur 38). Voorzichtig!

1 Wat voel je?





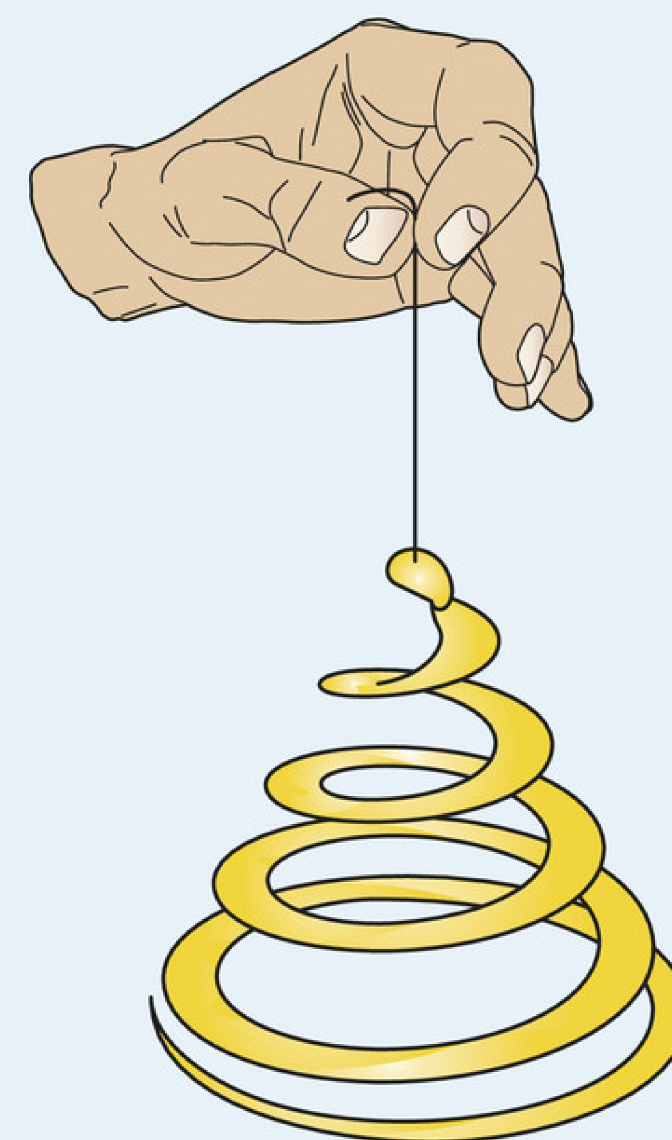
▲ **figuur 38**
Houd bij deze proef voldoende afstand!

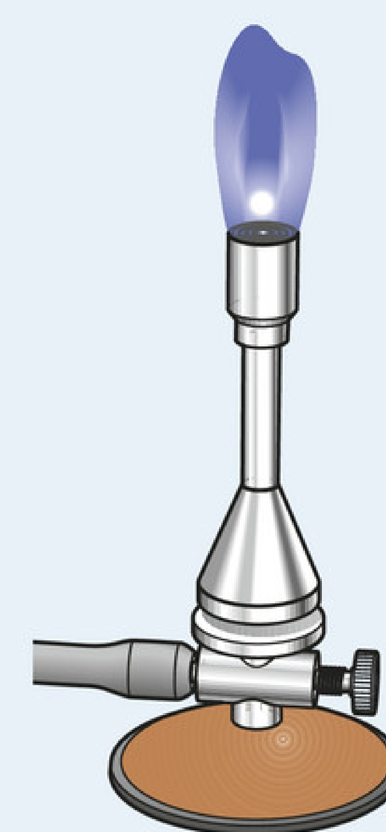
– Houd nu je hand op 30 cm afstand naast de vlam (zie figuur 38). Voorzichtig!

2 Wat voel je nu?
3 Probeer het verschil te verklaren.

– Hang de spiraal boven de vlam (figuur 39). De afstand tussen de vlam en de onderkant van de spiraal moet minstens 30 cm zijn.

4 Wat zie je?
5 Hoe kun je dat verklaren?





▲ **figuur 39**
Laat de spiraal boven de vlam zweven.

Proef 6 Een ontwerp maken: de windsnelheidsmeter 90 min

Inleiding
Jouw school gaat een weerproject doen, waarbij de leerlingen zelf gegevens verzamelen over het weer. Een van die weergegevens is de windsnelheid. Jij krijgt de opdracht om hiervoor een betrouwbare windsnelheidsmeter te ontwerpen. Nadat je wat onderzoek hebt gedaan, besluit je om niet helemaal zelf een nieuw ontwerp te maken, maar op basis van een bestaand ontwerp te werken.

Doel
Bij deze proef ga je een windsnelheidsmeter ontwerpen, bouwen en ijken. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- De windsnelheidsmeter is gemaakt van materialen die weinig of niets kosten. Op internet kun je hier ideeën voor vinden.
- De windsnelheidsmeter gaat draaien als het waait: hoe groter het aantal omwentelingen per minuut, des te groter is de windsnelheid.
- Het is eenvoudig om metingen met de windsnelheidsmeter te doen. Tip: zet de draaibeweging om in een elektrisch signaal en ga dat vervolgens meten.
- De windsnelheidsmeter zit stevig in elkaar. Je kunt er zonder problemen twee weken lang metingen mee doen, ook bij harde wind.
- De windsnelheidsmeter is geijkt: je hebt gecontroleerd dat de windsnelheid er betrouwbaar mee gemeten kan worden.

Nodig
Bij deze opdracht bedenk je zelf welke spullen je nodig hebt. Overleg indien nodig met je docent.

Uitvoeren en uitwerken
– Zoek op internet informatie over windsnelheidsmeters die je zelf kunt bouwen van goedkope of gratis materialen. Zoek niet alleen op ‘windsnelheidsmeter’, maar ook op ‘wind speed meter’ en ‘anemometer’ en voeg zoekwoorden toe zoals ‘zelf maken’ of ‘home made’.
– Bedenk hoe je de opdracht kunt uitvoeren. Uit welke onderdelen bestaat jouw meter, welke spullen heb je nodig, hoe kun je de meter betrouwbaar ijken?

1 Maak een werkplan voor deze opdracht.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
– Bouw de windsnelheidsmeter en ijk hem zorgvuldig.

2 Maak een testverslag met daarin:
- **a** een duidelijke bouwtekening van de windsnelheidsmeter;
- **b** de tests die je hebt uitgevoerd, en de resultaten daarvan;
- **c** eventuele veranderingen die je in het ontwerp hebt aangebracht.

Proef 7 Een onderzoek uitvoeren: een bekertje isoleren 30 min

Inleiding

Als je een plastic bekertje vult met hete chocolademelk of thee, moet je niet te lang wachten met opdrinken. Het bekertje raakt voortdurend warmte kwijt, waardoor de hete drank steeds verder afkoelt. Je vraagt je af of er ook een eenvoudige manier is om zo'n bekertje te isoleren, zodat de inhoud veel langer heet blijft.

Doel

Je gaat onderzoeken hoe je dit warmteverlies zo goed mogelijk kunt beperken. De onderzoeksvraag luidt:
Welke vorm van isolatie is het meest effectief om een bekertje met heet water te isoleren?
Het is de bedoeling dat elk onderzoeksgroepje één manier gaat uitproberen. Na afloop ga je de meetgegevens naast elkaar leggen en vergelijken.

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

- Bedenk verschillende manieren om een plastic bekertje te isoleren. Spreek een spelregel af voor de hoeveelheid materiaal die je maximaal mag gebruiken.
- Ontwerp een meetopstelling waarmee je de vereiste meetgegevens kunt verzamelen. Wat ga je meten en welke practicumspullen heb je daarvoor nodig?
- Denk erover na hoe je de meetgegevens na afloop eerlijk met elkaar kunt vergelijken. Hoe kun je bepalen dat de ene vorm van isolatie effectiever is dan de andere?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit. Verzamel na afloop alle meetgegevens op het bord. Trek ten slotte gezamenlijk een conclusie.

2 Noteer alle meetresultaten in je schrift, ook die van je klasgenoten.

3 Schrijf op tot welke conclusie jullie gekomen zijn, en waarom.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 t/m 16 ook maken met de computer.

1 Roger draait de dop van een volle fles cola en ziet overal in de cola gasbelletjes ontstaan. "Kijk, dat is koolzuur", zegt hij tegen zijn buurvrouw.
- **a** Geef de 'officiële' naam van dit gas.
- **b** Geef de formule van het molecuul.

2 Voor een verbranding gelden drie voorwaarden.
- **a** Welk gas is onmisbaar bij verbranding?
- **b** De stoffen die verbrand worden heten ...
- **c** De temperatuur moet minstens even hoog zijn als de ...

3 De schaatsbaan in Calgary (Canada) ligt ongeveer 1000 meter boven zeeniveau. Schaatsers moeten wennen aan het sporten op die hoogte. Als ze in ademnood komen, komt dat doordat:
- **A** ze gebrek aan zuurstof krijgen.
- **B** ze te veel stikstof inademen.
- **C** de luchtweerstand groter is.
- **D** ze langzamer gaan ademhalen.

4 Welke van de volgende beweringen zijn juist?
- **A** De gasvlam van een brander verbruikt niet alleen aardgas, maar ook zuurstof.
- **B** Je gebruikt een barometer om te meten hoe groot de atmosferische druk is.
- **C** De drukeenheden hectopascal (hPa) en millibar (mbar) kun je door elkaar gebruiken.
- **D** Op zeeniveau is de luchtdruk circa twee keer zo groot als op 0,5 km hoogte.
- **E** In lucht zit vooral zuurstof.

5 Op 16 december 2011 werd in De Bilt een luchtdruk gemeten van 970 hPa.
Een luchtdruk van 970 hPa is ...
- **A** extreem laag.
- **B** iets onder het gemiddelde.
- **C** iets boven het gemiddelde.
- **D** extreem hoog.

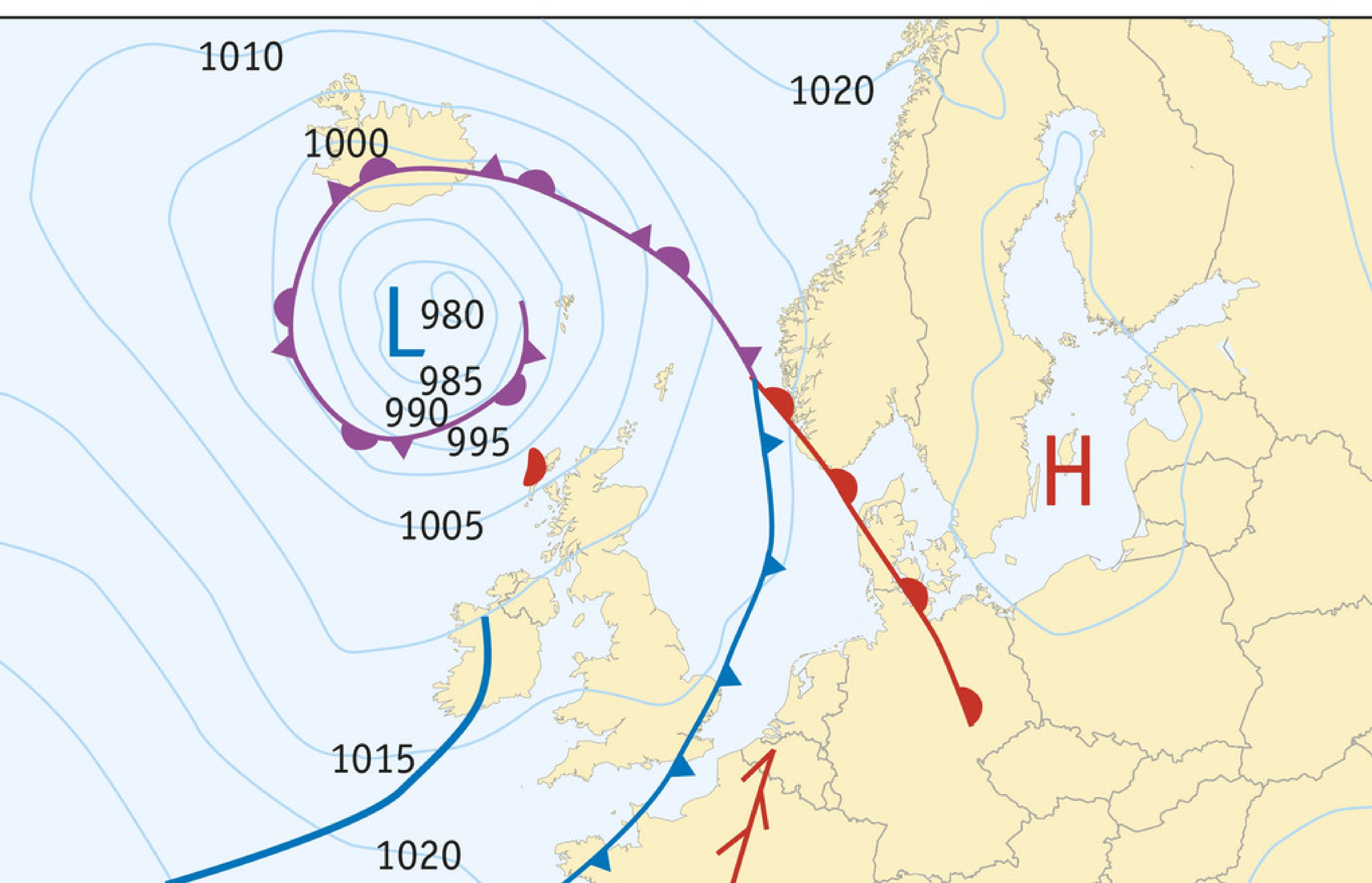
6 Martina duwt een zuignap tegen de muur.
Kies de juiste mogelijkheid.
Als de zuignap tegen de muur hangt, is de druk onder de zuignap *kleiner dan / gelijk aan / groter dan* de luchtdruk.

7 Een hoogtemeter in een vliegtuig is eigenlijk een aangepaste drukmeter. De schaalverdeling geeft niet de druk aan, maar de hoogte boven zeeniveau. Om de hoogte betrouwbaar weer te geven, moet de hoogtemeter afgesteld worden op de luchtdruk op zeeniveau.
Stel je voor dat de piloot per ongeluk 1002 hPa invoert voor de luchtdruk op zeeniveau, terwijl dit 1012 hPa moet zijn.
- **a** Geeft de hoogtemeter dan een te hoge of juist een te lage waarde aan voor de vlieghoogte?
- **b** Hoe groot is de fout ongeveer: 10 meter, 100 meter of 1000 meter?

8 Met helium gevulde weerballonnen worden gebruikt om hoog in de atmosfeer weergegevens te verzamelen. De ballonnen zetten tijdens het stijgen zeer sterk uit, totdat ze ten slotte scheuren. De sonde die de weergegevens verzamelt en doorseint, komt daarna aan een parachute naar beneden.
- **a** Jan zegt: "Tijdens het stijgen zet de ballon uit. Dat komt doordat de druk van het helium in de ballon steeds verder stijgt."
Klopt deze bewering?
- **b** Emil zegt: "Tijdens het stijgen zet de ballon uit. Dat komt doordat de luchtdruk buiten de ballon steeds verder afneemt."
Klopt deze bewering?

9 Kies steeds de juiste mogelijkheid.
- **a** De druk van de lucht in je longen is gemiddeld *groter dan / even groot als / kleiner dan* de atmosferische druk.
- **b** Om in te ademen, maak je het volume van je longen *groter /* . De druk van de lucht in je longen wordt dan iets *groter / kleiner* dan de atmosferische druk. Daardoor stroomt er lucht je longen *in / uit*.
- **c** Om uit te ademen, maak je het volume van je longen *groter / kleiner*. De druk van de lucht in je longen wordt dan iets *groter / kleiner* dan de atmosferische druk. Daardoor stroomt er lucht je longen *in / uit*.

10 In figuur 40 zie je een fragment van de KNMI-weerkaart voor 3 juli 2005.
Wat voor weer zal het waarschijnlijk die dag op IJsland geweest zijn?
- **A** harde noordelijke of noordwestelijke wind of storm; veel regen
- **B** harde zuidelijke of zuidwestelijke wind of storm; veel regen
- **C** zachte wind uit het noorden of noordwesten; geen neerslag
- **D** zachte wind uit het zuiden of zuidwesten; geen neerslag



▲ **figuur 40**
een fragment van een weerkaart

11 Op weerkaarten zie je lijnen met getallen staan, zoals 980 of 1020.
- **a** Hoe heten deze lijnen?
- **b** Over welke grootheid gaat het?
- **c** In welke eenheid geeft de weerkaart deze grootheid weer?

12 Neem over en vul in.
- **a** Isolatiematerialen zoals glaswol en piepschuim danken hun isolerende werking aan de … die erin zit.
- **b** De … zit goed in het isolatiemateriaal 'opgesloten', zodat deze niet door de … weggeblazen kan worden.
- **c** Hoe dunner de laag isolatiemateriaal, des te … warmte er per seconde door het materiaal heen naar buiten verdwijnt.

13 Hoe noem je een stroming die wordt veroorzaakt door een plaatselijk temperatuurverschil?

14 Neem over en vul steeds de juiste grootheid in. Kies uit: *de dichtheid / de massa / het volume*.
Als een bel met warme lucht uitzet, blijft … van de lucht even groot, terwijl … van de lucht toeneemt. Dat heeft tot gevolg dat … van de lucht kleiner wordt.

15 Bekijk de volgende handelingen.
- **A** Het gas laten 'bubbelen' door kalkwater.
- **B** Een gloeiend stukje houtskool bij het gas houden.
- **C** Een glasplaatje boven het opstijgende gas houden.
- **a** Met welke methode kun je zuurstof aantonen?
- **b** Met welke methode kun je koolstofdioxide aantonen?

16 Noteer of de volgende beweringen waar of onwaar zijn.
- **a** De waterdamp in lucht begint te condenseren als de temperatuur stijgt tot boven het dauwpunt.
- **b** Hoe groter de hoeveelheid waterdamp per kubieke meter lucht, des te hoger het dauwpunt.
- **c** Lucht van 30 °C kan veel minder waterdamp bevatten dan lucht van 0 °C (uitgedrukt in g/m^3).
- **d** Hoe sterker de lucht 's nachts afkoelt, des te groter is de kans op dauw.

17 Martin heeft 100 mL water in een bekerglas gedaan. Hij verwarmt het water daarna met een brander.
- **a** Welke twee gassen ontstaan er bij de verbranding van aardgas?
- **b** Het valt Martin op dat het bekerglas vrijwel meteen beslaat. Leg uit hoe dat komt.
- **c** Hoe komt het dat die condens daarna weer snel verdwijnt?

18 Een ruimtevaarder trekt een speciaal ruimtepak aan voordat hij een ruimtewandeling gaat maken (figuur 41). Zo'n ruimtepak zit vol met lucht die het lichaam van de astronaut onder druk houdt. Leg uit waarom zo'n drukpak absoluut nodig is.



▲ **figuur 41**
NASA-astronaut Sunita Williams tijdens een ruimtewandeling

19 In figuur 42 zie je een satellietfoto van de orkaan Yasi in Australië.

- **a** Waaraan kun je zien dat de orkaan is ontstaan rond een lagedrukgebied?
- **b** Waaraan kun je zien dat de foto op het zuidelijk halfrond gemaakt is?
- **c** Wat kun je zeggen over de afstand tussen de isobaren in het stormgebied?



▲ **figuur 42**
een satellietfoto van de orkaan Yasi

20 Onweersbuien ontstaan alleen als de omstandigheden in de atmosfeer daar geschikt voor zijn. In het bericht in figuur 43 kun je daar meer over lezen.

- **a** Onder welke omstandigheden is de kans op onweersbuien erg groot?
- **b** Zal een bel met warme lucht onder die omstandigheden met een grote of met een kleine snelheid omhoog bewegen?
- **c** Zal een bel met warme lucht al vrij snel tot stilstand komen of een grote hoogte bereiken?



Onweersbuien brengen spektakel

Een aantal hevige onweersbuien heeft gisteren overal in Nederland voor overlast gezorgd. De buien ontstonden door opvallend grote tegenstellingen tussen de temperatuur aan de grond en hoog in de atmosfeer. Op 5,5 km hoogte werden temperaturen gemeten van –22 tot –25 graden, terwijl de thermometer op ooghoogte gemiddeld +20 graden aanwees. Door dat forse verschil ontstonden zeer actieve buienwolken.

▲ **figuur 43**

21 Een kampeerder gaat de bergen in en neemt onder andere een hogedrukpan mee.
Leg uit waarom hij zo'n pan meeneemt en niet een gewone pan.

DE VERNIETIGENDE KRACHT VAN LUCHT



In de Tornado Alley ten noorden van Texas komen zo'n duizend tornado's per jaar voor. Ze veroorzaken veel schade en regelmatig vallen er doden. In Amerika zijn veel 'tornadojagers' actief en Tim Samaras was een van hen. De afgelopen twintig jaar reed hij met zijn team achter honderden tornado's aan. Zodra Tim een idee had in welke richting zo'n bulderende wervelwind zou bewegen, plaatste hij snel de door hemzelf gebouwde meetinstrumenten. Daarna snel terughollen naar de auto, wegscheuren en op een veilige plek afwachten. Klopte zijn voorspelling over de richting van de tornado en was zijn apparatuur heel gebleven, dan kon hij nieuwe meetresultaten aan zijn collectie toevoegen.

Bezeten van tornado's

Tim Samaras was bezeten van dat 'jagen' op tornado's. Ook al had hij er al veel gezien, ze bleven hem fascineren. Hij was regelmatig op televisie om over zijn onderzoek te vertellen. Met zijn metingen, van onder andere druk en snelheid, hoopte hij achter de geheimen van de tornado te komen. Na jarenlang werken was hij al een heel eind gekomen. Hij wist dat het gevaarlijk was wat hij deed, maar hij kwam er steeds goed van af. Tot ... die noodlottige dag in mei 2013. Op vele nieuwssites werd het tragische lot van Samaras bekendgemaakt.

De metingen van Tim Samaras en zijn team hebben veel duidelijk gemaakt over het gedrag en de eigenschappen van tornado's. Ook vele andere teams hebben metingen in het veld gedaan. Een daarvan is het VORTEX2-project van het National Severe Storms Laboratory.
VORTEX2 was vooral bedoeld om meer te weten te komen over het ontstaan van tornado's. Tientallen onderzoekers gingen met meetauto's op pad om nauwkeurige metingen te doen aan echte tornado's. De risico's die Tim Samaras nam, wilden zij niet nemen en daarom gebruikten ze vooral radarinstrumenten. Een radar zendt radiogolven uit en als deze golven teruggekaatst worden door objecten, kun je daaruit informatie halen over de plaats en de snelheid van die objecten. Met radar kunnen onderzoekers van een afstand de structuur van een tornado in kaart brengen. Ook kunnen ze bijvoorbeeld 'zien' waar regendruppeltjes ontstaan en in welke richting de luchtstromingen bewegen.

Tornado's en orkanen

Een tornado ontstaat boven land en lijkt op een windhoos. Je ziet dan een smalle slurf met snel ronddraaiende lucht die uit een

Bekende tornadojagers omgekomen in VS

Een bekend team van tornadojagers in de Verenigde Staten is vrijdag door een tornado omgekomen. De 'stormchasers' waren jarenlang te zien in het gelijknamige programma op Discovery Channel, zo meldden verschillende Amerikaanse media zondag. Tim Samaras (55), zijn zoon Paul (24) en hun collega Carl Young (45) werden verrast door een koersverandering van een tornado bij het plaatsje El Reno in de staat Oklahoma. Ze konden niet meer op tijd wegkomen. Het team onderzocht onder de naam TWISTEX jarenlang het ontstaan en de ontwikkeling van wervelstormen. Ze plaatsten meetinstrumenten in het pad van een tornado om onder andere druk, temperatuur en windsnelheid te meten. Dat was ook te zien in de serie op Discovery Channel. Het onderzoek was zeer gevaarlijk, maar het team stond bekend als voorzichtig en uiterst professioneel. Mede door de resultaten van hun onderzoek werden tornadowaarschuwingen preciezer en konden ze eerder worden afgegeven.



grote onweerswolk komt. Een orkaan ontstaat altijd op zee en is veel groter. De overeenkomst is dat ze beide bestaan uit ronddraaiende lucht en dat ze beide grote schade kunnen aanrichten.

Supercel

Onderzoekers weten nog lang niet alles van tornado's, maar een paar dingen zijn wel duidelijk geworden. Tornado's ontstaan altijd tijdens onweersbuien boven land in combinatie met een instabiele situatie in de atmosfeer. Bijvoorbeeld een laag koude droge lucht die boven een laag vochtige warme lucht ligt. Warme lucht heeft een kleinere dichtheid dan koude lucht en zal dus opstijgen. Tegelijk zal de koude lucht dalen. Als die opstijgende warme lucht veel waterdamp bevat, gaat die condenseren. Ergens in die opstijgende warme lucht vormt de gecondenseerde waterdamp dan een 'slurf'. Voor het verdampen van water is warmte nodig, maar bij het condenseren van waterdamp komt juist warmte vrij. Door die vrijkomende warmte neemt de temperatuur in de slurf verder toe en stijgt de lucht nog sneller omhoog. Daardoor neemt de luchtdruk onder in de slurf af en stroomt de lucht uit de omgeving ernaartoe. Als er van alle kanten lucht aan komt stromen, gaat deze lucht draaien, net zoals water het afvoerputje in de gootsteen in 'draait'. Zo kan een windhoos ontstaan die kan uitgroeien tot een echte tornado. Hoe zo'n kleine windhoos zich precies tot een tornado ontwikkelt, is nog niet bekend. Het is wel duidelijk dat een sterke wind op grote hoogte daarbij nodig is. De gevaarlijkste tornado's ontstaan in een zogenaamde supercel. Dat is een groot onweersgebied dat op één plek een sterke stijgende luchtstroming heeft met daarnaast een sterke dalende luchtstroming (valwind).

Simulaties

Voor het begrijpen van tornado's zijn metingen aan echte tornado's belangrijk, maar je kunt ook onderzoek doen door kleine tornado's op te wekken in een laboratorium. Rond 1950 was de Japanner Tetsuya Fujita in Amerika een van de eerste wetenschappers die dat deed. Fujita en zijn team maakten kleine tornado's door stukjes vast koolstofdioxide CO_2 in een laag water te leggen. De CO_2 vervluchtigt snel en het CO_2-gas dat daarbij ontstaat is heel koud. Daardoor condenseert de waterdamp in de lucht en zie je een nevel. Zo wordt de beweging van de lucht zichtbaar. Als er dan op ongeveer een meter boven de grondplaat een speciale ventilator wordt aangezet, ontstaat er na korte tijd een slurf.

Het meten aan kleine tornado's in een lab is niet eenvoudig en daarom zijn veel onderzoekers overgestapt naar simulaties met de computer. De luchtstromingen bij tornado's zijn zo ingewikkeld dat er supercomputers nodig zijn voor de enorme hoeveelheid rekenwerk. Maar dé vraag bij alle simulaties is: hoe goed lijken de gesimuleerde tornado's op de echte? Om die vraag te kunnen beantwoorden blijven metingen aan echte tornado's onmisbaar. Metingen zoals Tim Samaras die deed.



Opgaven

1 Het onderzoeksproject VORTEX2 was de opvolger van een eerder VORTEX-onderzoek in de jaren negentig.
a Waarom zou men ongeveer 20 jaar later opnieuw zijn gaan meten met het VORTEX2-project?
b De onderzoekers van VORTEX2 namen minder risico dan Tim Samaras bij zijn TWISTEX-project. Wat vind je van de risico's die Samaras nam?

2 In de Verenigde Staten wordt de 'verwoestende kracht' van tornado's sinds 2007 ingedeeld volgens de *Enhanced Fujita* schaal (EF). De basis van deze schaal werd gelegd door tornado-onderzoeker Tetsuya Fujita. In de tabel zie je dat er zes klassen zijn, elk met een EF-getal.

	windsnelheid	
EF getal	km/h	
0	105–137	lichte schade
1	138–178	matige schade
2	179–218	aanzienlijke schade
3	219–266	ernstige schade
4	267–322	zeer zware schade
5	> 322 km/h	catastrofaal

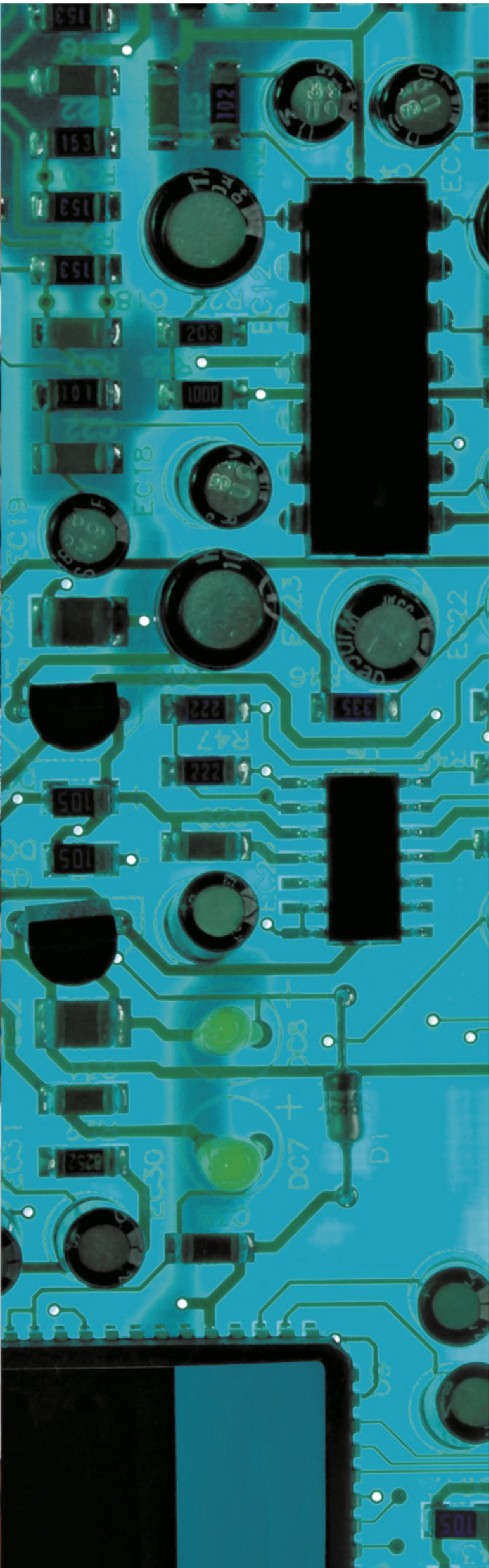
a Waarom is de windsnelheid een goede maat voor de verwoestende kracht van tornado's?
b Bereken de gemiddelde windsnelheid bij een tornado van klasse EF1.
c Waarom zijn er niet meer dan zes klassen?

Het onderzoek zoals Fujita dat deed met zijn laboratoriumtornado's, wordt modelonderzoek genoemd.
d Leg de naam 'modelonderzoek' uit.
e Waarom is modelonderzoek nooit voldoende om een verschijnsel, zoals tornado's, helemaal te kunnen begrijpen?

3 Vergelijk de EF-schaal met de schaal van Beaufort.
Verklaar waarom een EF0 tornado zoveel minder schade aanricht dan een storm uit de Beaufortschaal met een even grote windsnelheid.

4 Tornado's halen hun energie uit twee dingen: uit de warmte die vrijkomt bij het condenseren van waterdamp, en uit het bevriezen van water hoog in de atmosfeer. Volgens een bron op internet komen bij elke gram water die ontstaat door condensatie ongeveer 600 calorieën aan energie vrij. Bij het bevriezen komen ongeveer 80 calorieën per gram water vrij.
a Officieel mag de calorie niet meer gebruikt worden als eenheid van energie en moet de joule (spreek uit als 'zjoel') gebruikt worden. 1 calorie is gelijk aan 4,2 joule.
Hoeveel joule energie komt er vrij als 1 gram waterdamp eerst condenseert en daarna bevriest? Rond je antwoord af op één cijfer achter de komma.
b Volgens dezelfde bron komt er bij een gemiddelde onweersbui ongeveer 10 miljoen kilowattuur (kWh) aan energie vrij. Een gemiddeld huishouden in Nederland verbruikt ongeveer 3500 kWh aan energie per jaar.
Bereken hoeveel huishoudens je met één onweersbui een jaar lang van energie zou kunnen voorzien.
c De kilowattuur is gelijk aan 3,6 miljoen joule.
Bereken de energie in joule van een gemiddelde onweersbui.
d Stel dat alle energie van een onweersbui voortkomt uit het condenseren en bevriezen van water.
Over hoeveel miljoen kg water gaat het dan? Gebruik je antwoord van vraag a.





5 Elektriciteit

Mobiele apparaten

Een elektrisch apparaat dat op batterijen werkt, kun je meenemen en gebruiken waar je maar wilt. Je actieradius wordt niet beperkt door de lengte van het snoer – zolang je niet vergeet om de batterijen tijdig op te laden of te verwisselen.

1 Stroomkringen



▲ figuur 1
een stroomkring maken

Je komt in huis allerlei apparaten tegen die op elektriciteit werken. Apparaten die veel elektrische energie nodig hebben, zoals een stofzuiger of een waterkoker, sluit je aan op het lichtnet. Andere apparaten halen de elektrische energie die ze nodig hebben uit batterijen of accu's.

Een gesloten stroomkring

Om een lampje te laten branden moet je er een elektrische stroom doorheen laten lopen. Dat lukt alleen als je een gesloten **stroomkring** maakt. De stroom loopt dan van de ene kant van een batterij naar het lampje, door het lampje, en weer terug naar de andere kant van de batterij (figuur 1). In de snoeren die je thuis gebruikt zitten daarom minimaal twee draden: de toevoerdraad en de afvoerdraad.

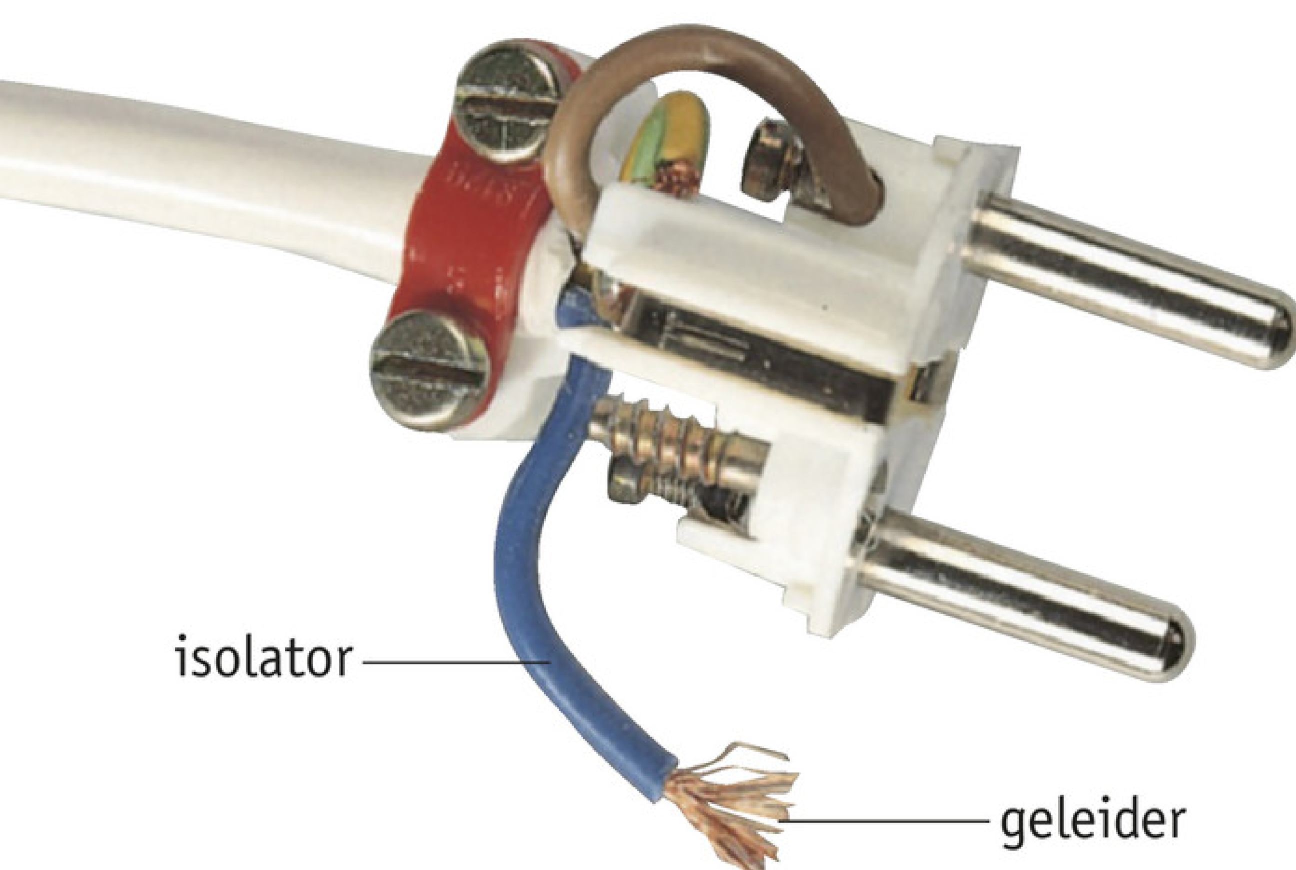
Als het lampje brandt, verbruikt het **elektrische energie**. Die energie wordt geleverd door de batterij. De elektriciteitssnoeren vervoeren de elektrische energie van de batterij naar het lampje. Je hebt dus altijd te maken met:

– een **spanningsbron** die elektrische energie levert, bijvoorbeeld een batterij;
– verbindingen voor het vervoer van de elektrische energie, bijvoorbeeld een snoer;
– een of meer **apparaten** die de elektrische energie verbruiken, bijvoorbeeld een lampje.

Isolerende en geleidende stoffen Proef 1

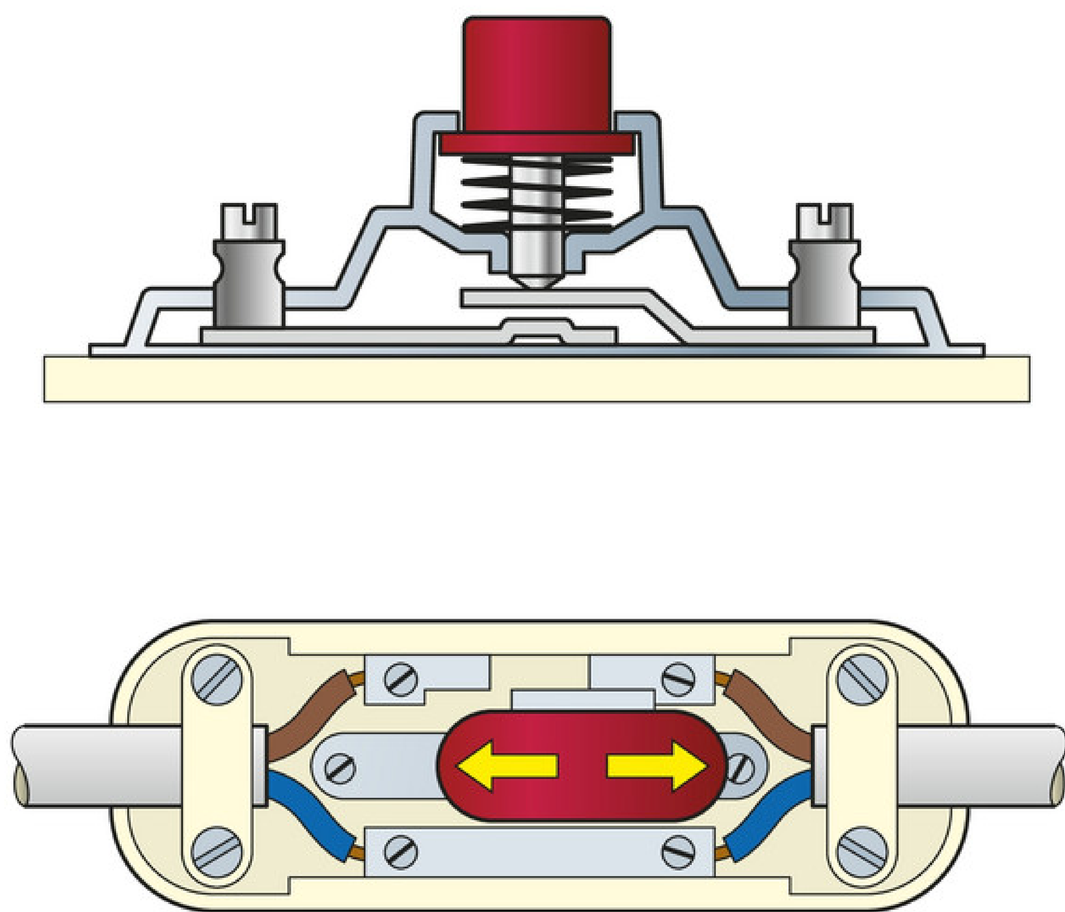
Bij proeven met elektriciteit gebruik je snoeren om de onderdelen van een stroomkring met elkaar te verbinden. De elektrische stroom loopt door het koperdraad dat binnen in zo'n snoer zit. De buitenkant van het snoer is van plastic. Daar loopt geen elektrische stroom doorheen (figuur 2).

Stoffen waar een elektrische stroom gemakkelijk doorheen kan lopen, worden **geleiders** genoemd. Alle metalen zijn geleiders, maar het ene metaal geleidt beter dan het andere. Koper en aluminium geleiden bijvoorbeeld beter dan ijzer en lood. Koolstof is ook een geleider, al is het geen metaal.



▲ figuur 2
Een stekker en een elektriciteitssnoer bestaan uit geleiders en isolatoren.

Stoffen die een elektrische stroom niet of heel slecht doorlaten, noem je **isolatoren** (isolator is afgeleid van het Latijnse *insula* = eiland). Voorbeelden zijn rubber, glas en de meeste soorten plastic. Als een vaste stof geen metaal is, gaat het bijna altijd om een isolator. Ook lucht is een goede isolator.



▲ **figuur 3**
soorten schakelaars

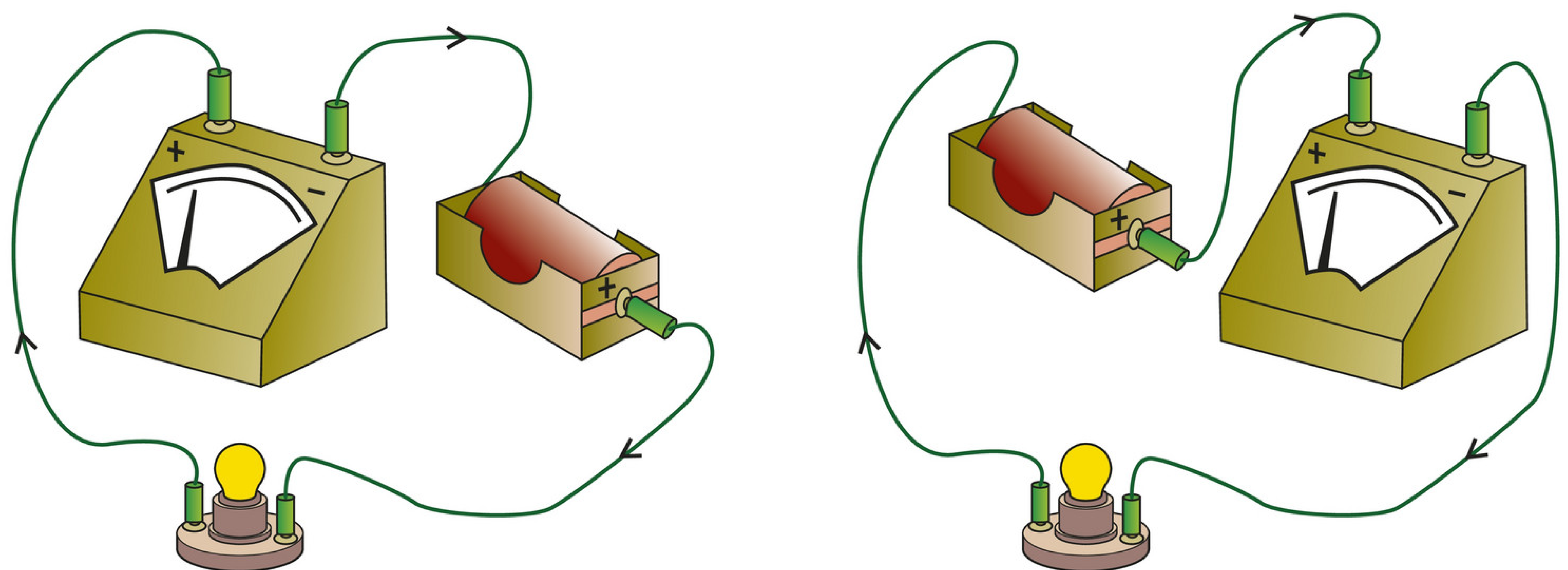
In een gesloten stroomkring loopt de stroom rond door de geleidende delen van snoeren, lampjes of andere apparaten. Met een **schakelaar** kun je de stroom in- en uitschakelen (figuur 3). Als je de stroom inschakelt, komen twee geleidende delen in de schakelaar met elkaar in contact. De stroomkring wordt zo gesloten. Als je de stroom uitschakelt, is er geen geleidende verbinding meer.

De stroom meten Proef 2

Als je een lampje op een batterij aansluit, gaat er een stroom door het lampje lopen. Zo'n elektrische stroom bestaat uit kleine deeltjes die door de stroomkring bewegen. De stroom loopt van de pluspool van de batterij door het lampje naar de minpool.

Met een **stroommeter** of ampèremeter kun je meten hoe groot de stroom door een stroomkring is. De grootte van de stroom, de **stroomsterkte**, heeft als eenheid de ampère (A). Deze is vernoemd naar de Franse natuur- en wiskundige André-Marie Ampère (1775-1836). Een stroommeter wordt daarom ook wel ampèremeter genoemd. Als de stroomsterkte klein is, meet je de stroom vaak in milliampère (mA).

Het maakt niet uit waar je een stroommeter in de stroomkring opneemt: links of rechts van het lampje. De stroomsterkte is namelijk op elke plaats in de stroomkring even groot (figuur 4).



▲ **figuur 4**
Voor en na het lampje is de stroomsterkte even groot.



Weerstand

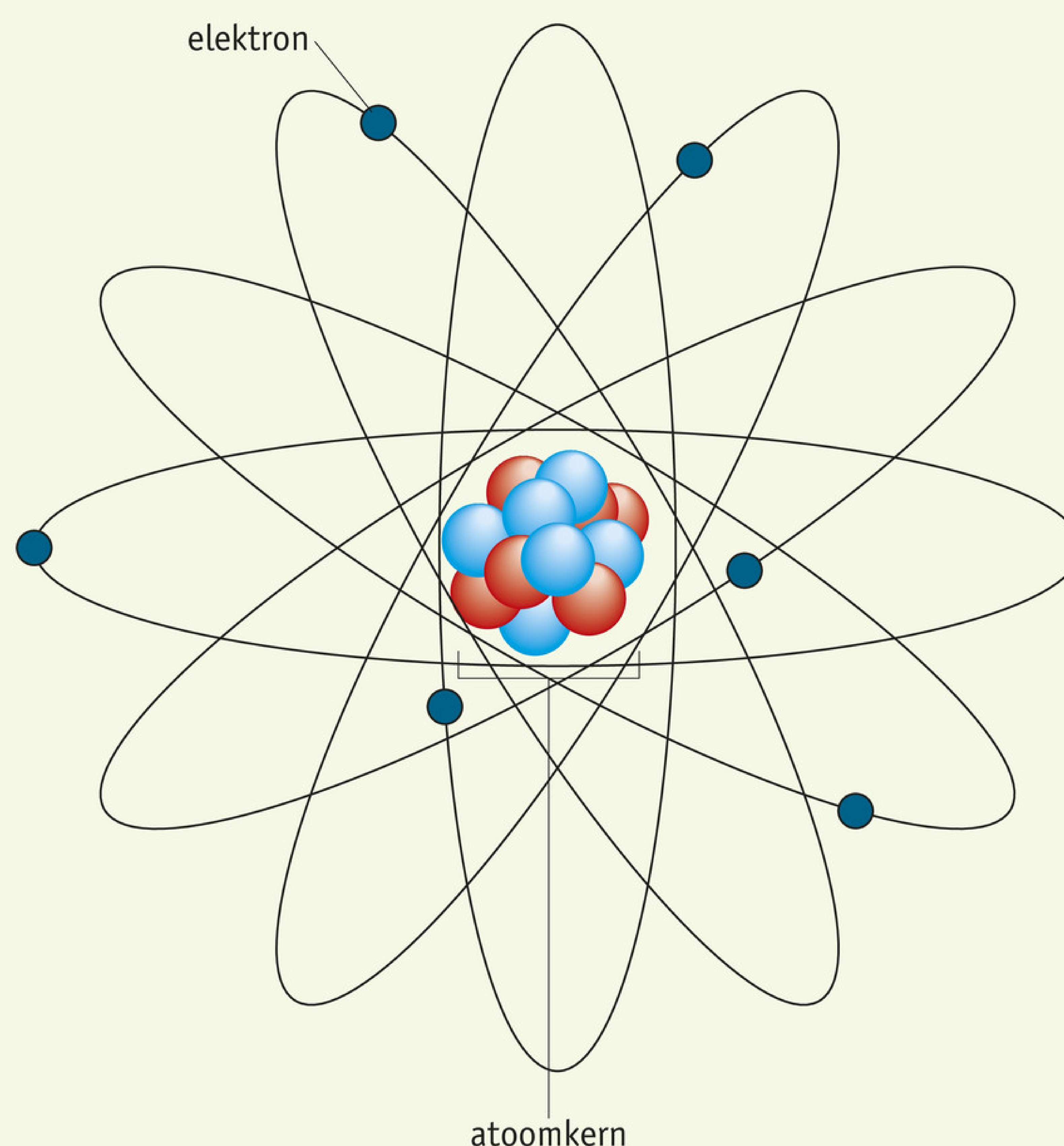
De snoeren in een stroomkring moeten de stroom heel gemakkelijk kunnen doorlaten. Je zegt dan dat ze een kleine weerstand moeten hebben. Daardoor gaat er in de snoeren ook geen energie verloren. Bij een gloeilampje moet de stroom door een dun draadje; het lampje heeft dus een hoge weerstand. De **weerstand** van een onderdeel van de schakeling bepaalt mede hoe groot de stroom is die er gaat lopen.
De eenheid van weerstand is de **ohm**, met als symbool de Griekse hoofdletter omega: Ω. Je kunt de weerstand meten met een **weerstandsmeter** of ohmmeter.

Met een **multimeter** kun je spanning, stroomsterkte én weerstand meten (figuur 5). Dat is handig omdat je dan maar één apparaat nodig hebt.

◀ **figuur 5**
een multimeter

Plus Elektronen

Het woord 'elektriciteit' komt van het Griekse woord *elektron* = barnsteen. Al lang geleden ontdekte men dat barnsteen andere voorwerpen aantrekt als je het even met een dierenvel opwrijft. Dat gebeurt ook als je met een doek over een voorwerp van pvc wrijft. Tegenwoordig zeggen natuurkundigen dat de pvc-buis door het wrijven een **elektrische lading** heeft gekregen. Uit onderzoek blijkt dat er twee soorten elektrische lading zijn: plus en min, en dat plus- en min-ladingen elkaar aantrekken.



▶ **figuur 6**
een atoom: rond de kern draaien de elektronen

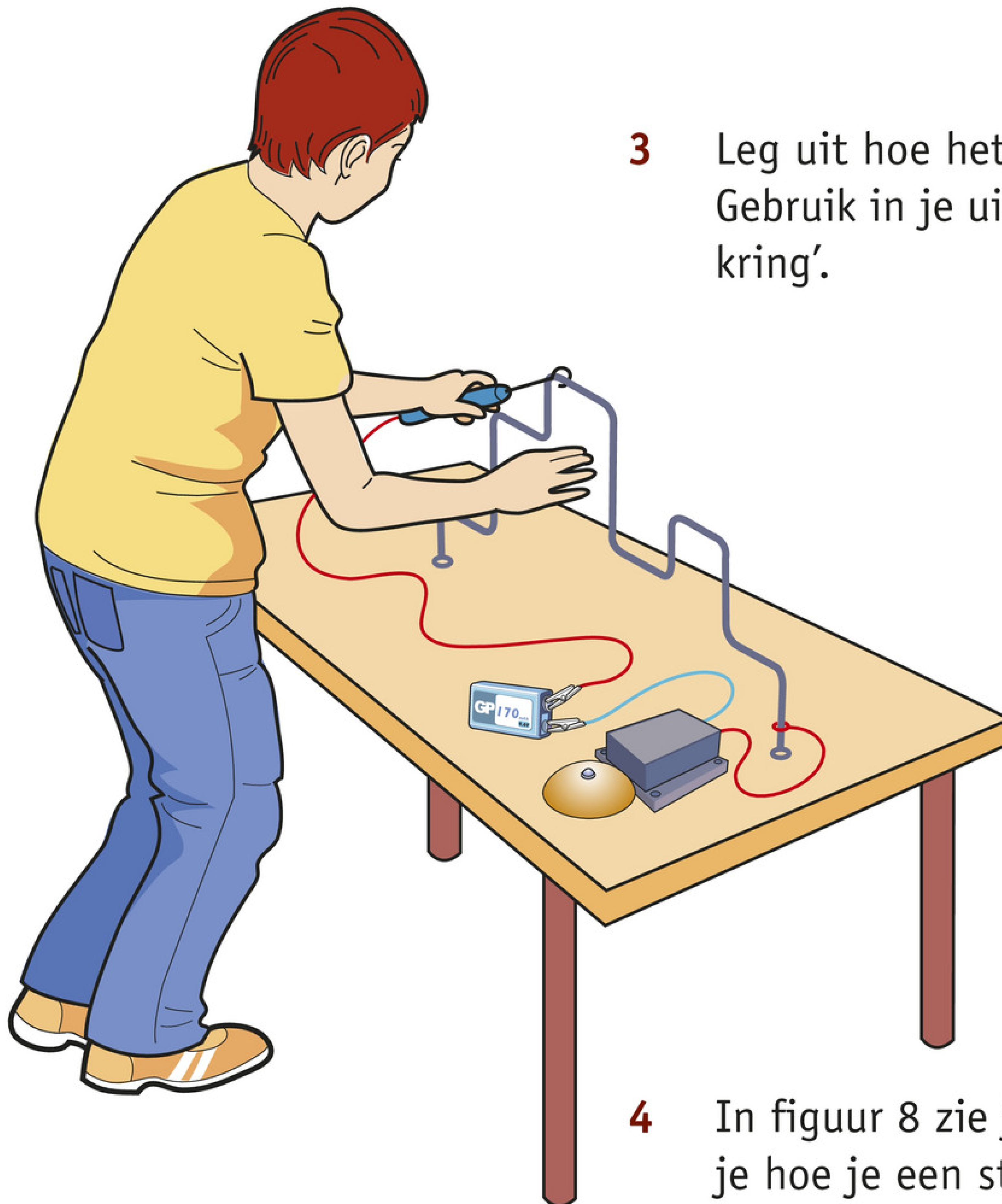
Om te begrijpen wat elektrische lading is moet je meer weten over de bouw van het atoom. Atomen zijn de bouwstenen van moleculen. Elk atoom bestaat uit een kleine positieve **kern**. Om de kern draaien de nog veel kleinere negatieve **elektronen** (figuur 6).
In pvc zit een deel van die elektronen redelijk 'los'. Als je eroverheen wrijft met een doek, breng je elektronen over van de pvc-buis naar die doek. De doek heeft dan een teveel aan elektronen en is daardoor negatief geladen. Het pvc heeft dan een tekort aan elektronen en is daardoor positief geladen.

Ook bij metaalatomen kunnen de elektronen makkelijk loskomen van het atoom. Als je een koperdraad op een batterij aansluit, dan trekt de pluspool aan de negatieve elektronen en stromen die elektronen daar naartoe. Een elektrische stroom is niets anders dan bewegende elektronen. Omdat elektronen negatief zijn en omdat plus en min elkaar aantrekken, stromen de elektronen in een stroomkring van de min- naar de pluspool. Maar je had net geleerd dat de stroom van de plus- naar de minpool loopt. Dat klopt dan toch niet? Vroeger wisten natuurkundigen niet dat een stroom uit negatieve elektronen bestond. Ze hebben toen een afspraak gemaakt: de stroom loopt van de plus- naar de minpool. Achteraf bezien hadden ze die afspraak beter andersom kunnen maken. Maar het staat nu over de hele wereld zo in alle boeken en het zou veel te duur zijn om dat te veranderen.

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke groep stoffen bestaat volledig uit goede geleiders van elektriciteit?
- **b** Hoe noem je stoffen die een elektrische stroom niet of heel slecht doorlaten?
- **c** Met welk onderdeel kun je de stroom in een stroomkring in- en uitschakelen?

2 Neem over en vul in.
- **a** Een elektrische stroom bestaat uit kleine … die door … materialen bewegen.
- **b** Met een … kun je meten hoe groot de stroomsterkte in een stroomkring is.
- **c** De grootte van de stroom wordt gemeten in …, afgekort met de letter …
- **d** De elektrische stroom loopt van … naar …
- **e** Bij een elektriciteitssnoer moet de buitenkant een … zijn en de binnenkant een …
- **f** Hoe makkelijk de stroom door een voorwerp gaat, wordt bepaald door de …



3 Leg uit hoe het spelletje van figuur 7 werkt.
Gebruik in je uitleg de woorden 'open stroomkring' en 'gesloten stroomkring'.

◀ **figuur 7**
Als je hand trilt, gaat de bel rinkelen.

4 In figuur 8 zie je drie foto's van een stroommeter. In vaardigheid 8 leer je hoe je een stroommeter afleest.
Noteer de stroomsterktes die de meters van figuur 8 aangeven. Vergeet de eenheid niet te noteren!



Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.

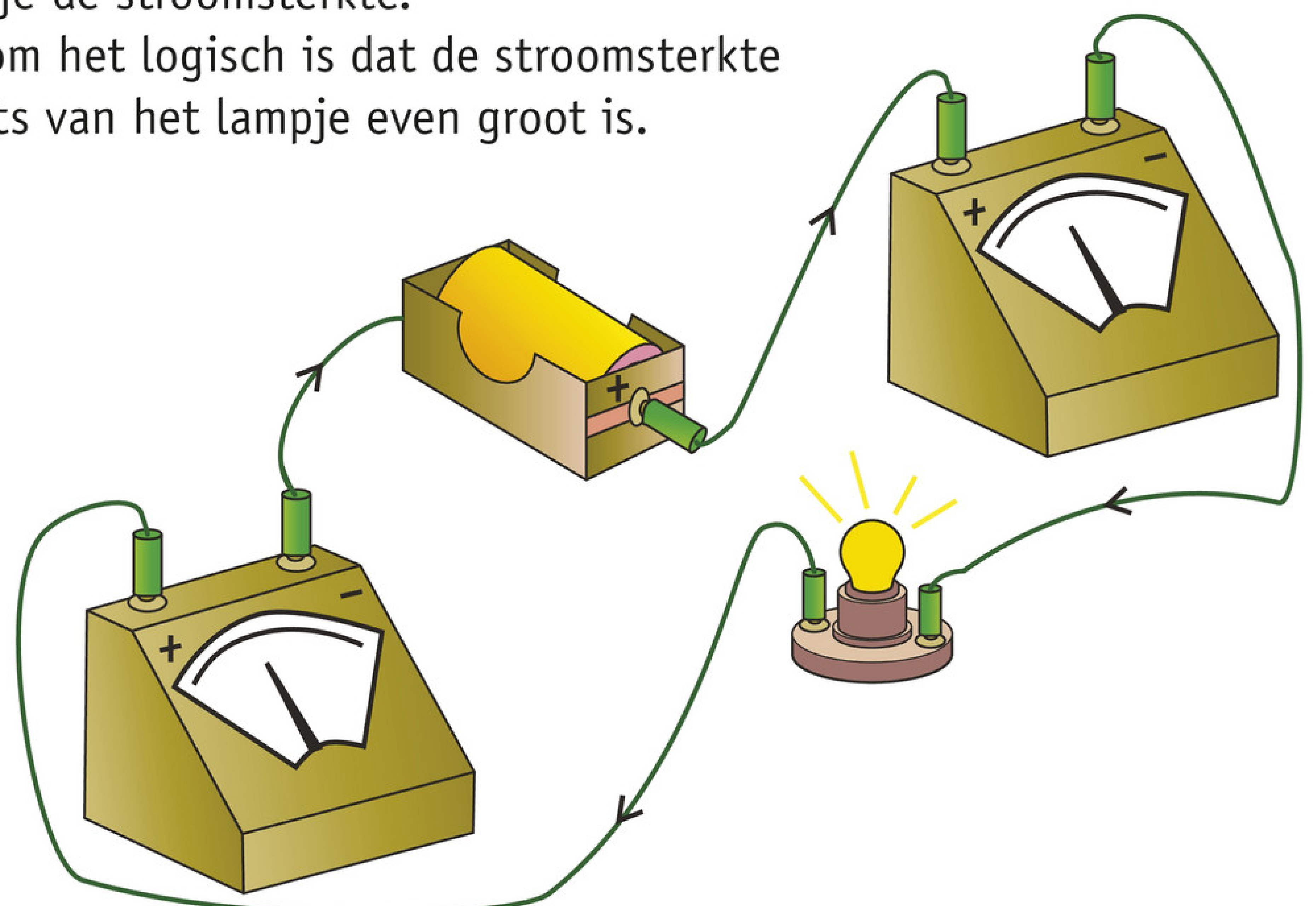






▲ **figuur 8**
Welke stroomsterkte geven de drie stroommeters aan?

5 In de schakeling van figuur 9 brandt het lampje. Links en rechts van het lampje meet je de stroomsterkte.
Leg uit waarom het logisch is dat de stroomsterkte links en rechts van het lampje even groot is.



▶ **figuur 9**
de stroomsterkte meten

6 Neem over en vul in:

a 37 mA = … A
b 0,250 A = … mA
c 3 mA = … A
d 452 mA = … A
e 0,032 A = … mA
f 3,1 mA = … A



Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.

7 Lars wil uitzoeken of kraanwater elektriciteit geleidt.
Leg uit hoe hij dat met een proefje kan onderzoeken. Maak een tekening van de proefopstelling.

8 Op een website vindt Floor een artikel over het zelf maken van een eenvoudige deurbeveiliging (figuur 10).
Leg uit hoe de schakeling werkt.



▶ **figuur 10**
een doe-het-zelfinbraakalarm

***9** Romy bouwt een stroomkring waarin twee lampjes en een batterij zitten.
Als zij een van de twee lampjes losdraait, gaat het andere lampje ook uit.

a Teken de stroomkring van Romy.
b Leg uit hoe het komt dat beide lampjes uitgaan.
c Ze wil met een stroommeter de stroomsterkte door de lampjes meten. Geef met pijlen in je tekening aan op welke plekken ze de stroommeter kan inbouwen.

***10** Meestal brandt een lampje in een stroomkring als de schakelaar gesloten is.
Teken een schakeling van een batterij, een schakelaar en een lampje, waarbij het lampje brandt als de schakelaar open is.

Plus Elektronen

11 Elektronen zitten in atomen.
- **a** Maak een schematische tekening van een atoom.
- **b** Leg uit waardoor elektronen in de buurt van de kern blijven.

12 De stroom loopt van de plus- naar de minpool van de batterij. De elektronen lopen precies andersom.
- **a** Leg uit waardoor de elektronen van de min- naar de pluspool stromen.
- **b** Leg uit hoe het verschil is ontstaan.

13 Door een isolator kan geen stroom lopen.
Leg uit hoe dit komt en gebruik daarbij de term ‘elektron’.

***14** Het meisje van figuur 11 wordt elektrisch geladen. Je ziet dat haar haren uit elkaar gaan staan. Geef daarvoor een verklaring.



▶ **figuur 11**
een effect van elektrische lading

2 Spanningsbronnen

Om een stroomkring te maken, heb je een spanningsbron nodig die elektrische energie levert. Veelgebruikte spanningsbronnen zijn batterijen, accu's en dynamo's. De panelen met zonnecellen die je soms op daken ziet, zijn ook spanningsbronnen.

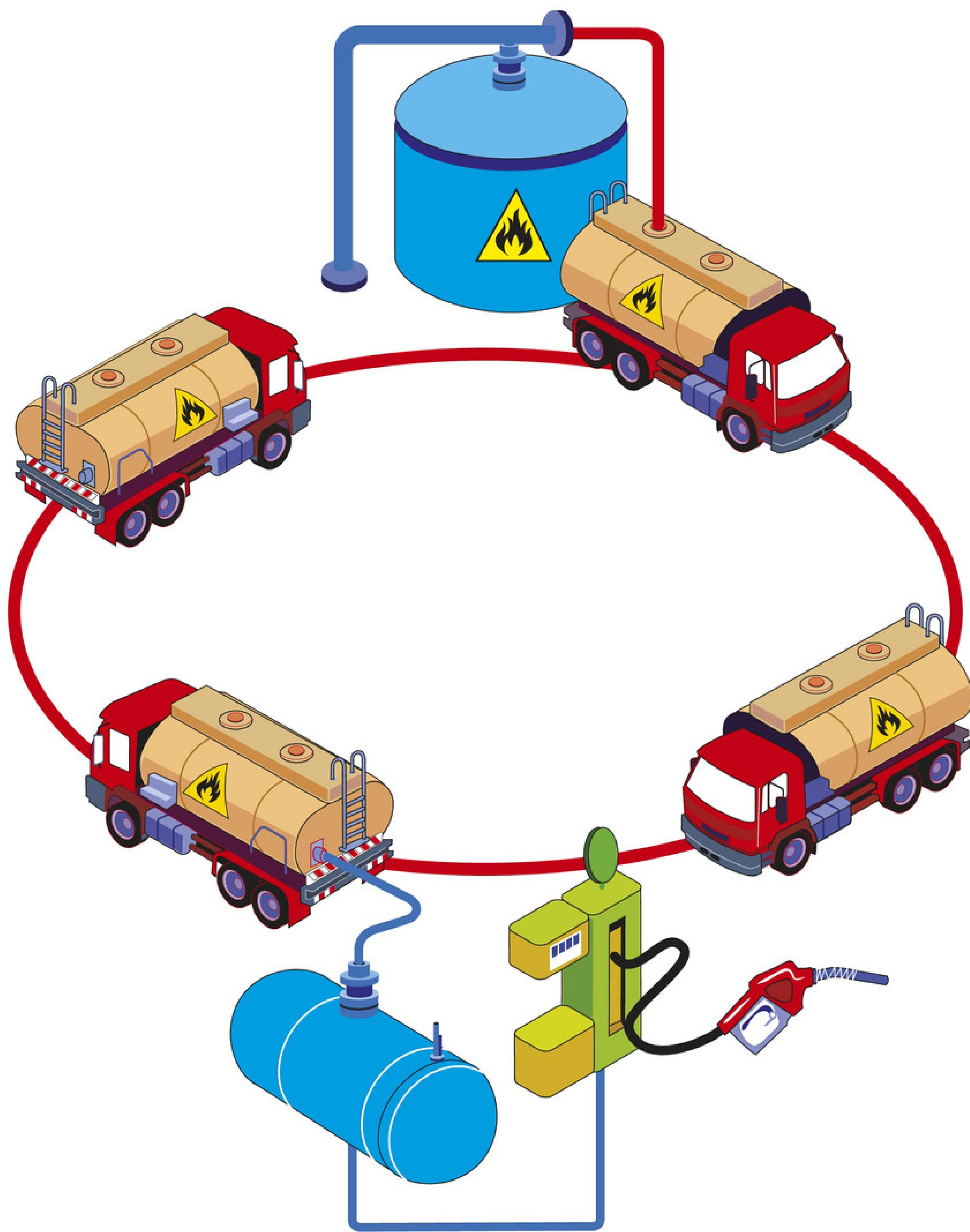
Spanning

Op een batterij staat altijd welke **spanning** hij levert (figuur 12). Je kunt dat controleren met een **spanningsmeter**. Je meet dan de spanning tussen de pluspool en de minpool van de batterij. De eenheid van spanning is de volt (V). Deze eenheid is vernoemd naar de Italiaanse onderzoeker Alessandro Volta (1745-1827), de bouwer van de allereerste batterij (1800). Een spanningsmeter wordt daarom ook wel een voltmeter genoemd.



▶ **figuur 12**
Elk type spanningsbron heeft zijn eigen spanning.

Spanning en stroomsterkte hebben te maken met de manier waarop een elektrische stroom energie vervoert. Zo'n stroom bestaat uit kleine deeltjes (elektronen) die door een geleidende stof bewegen. De stroomsterkte vertelt je hoeveel van die deeltjes er per seconde voorbij komen. De spanning vertelt je hoeveel elektrische energie elk deeltje met zich meeneemt.



▲ **figuur 13**
Je kunt het vervoer van elektrische energie vergelijken met het vervoer van benzine.

Hoe groter de stroomsterkte en de spanning, des te meer energie er per seconde wordt vervoerd. Om de begrippen stroomsterkte en spanning uit te leggen kan het helpen om het te vergelijken met iets heel anders, bijvoorbeeld met het vervoer van benzine met tankauto's (figuur 13). Zo'n vergelijking heet een **analogie**.
De 'stroomsterkte' komt dan overeen met het aantal tankauto's dat per uur langsrijdt. De 'spanning' is de hoeveelheid benzine die in elke tankauto zit. Hoe groter de 'stroomsterkte' en de 'spanning', des te meer benzine er per uur wordt vervoerd.

Batterijen schakelen

Vaak heb je meer dan één batterij nodig om aan de juiste spanning te komen. De afstandsbediening in figuur 14 werkt bijvoorbeeld met twee batterijen van 1,5 volt. Je moet die batterijen in serie schakelen. Dat wil zeggen dat je de pluspool van de ene batterij verbindt met de minpool van de andere batterij. Ze geven dan samen een spanning van 3,0 V. Schakel je vier batterijen van 1,5 V in serie, dan geven ze samen een spanning van 6,0 V. In het algemeen geldt:

Als je batterijen in serie schakelt, mag je hun spanningen bij elkaar optellen.

Als je een van de vier batterijen per ongeluk verkeerd om legt, werkt hij tegen de andere batterijen in. De totale spanning wordt dan 1,5 + 1,5 + 1,5 − 1,5 = 3,0 V.
Je kunt de batterijen ook naast elkaar schakelen. De spanning blijft dan gewoon 1,5 V, maar het apparaat werkt langer voordat je er nieuwe batterijen in moet doen.

Veilige en onveilige spanningen

Op stopcontacten staat de **netspanning**: die is in Nederland 230 V. Als je een geleider aanraakt waar 230 V op staat, krijg je op zijn minst een onplezierige schok. Onder ongunstige omstandigheden kan zelfs je leven gevaar lopen. Daarom moeten apparaten die op 230 V werken, goed geïsoleerd zijn zodat je geen onderdelen kunt aanraken waar spanning op staat.

▶ **figuur 14**
Deze afstandsbediening werkt met twee batterijen van 1,5 V.



De spanning van een batterij is veel lager dan 230 V. Zo'n lage spanning is niet gevaarlijk. Als je de polen van een batterij aanraakt, voel je zelfs helemaal niets. Als veilige grens wordt vaak 24 V genomen. Apparaten die op batterijen werken, blijven daar ruim onder. Je hoeft daarom niet bang te zijn dat een mobiele telefoon of een accuboormachine je een schok geeft.



▲ **figuur 15**
Een transformator zorgt voor de hoge spanning die bij lassen nodig is.

Veel apparaten werken op een lagere spanning dan 230 V. Om ze toch op het stopcontact te kunnen aansluiten heb je een **transformator** nodig. Het woord transformator komt van de Latijnse woorden *trans* = naar de overkant van, en *formare* = vormen. Een transformator zet de netspanning om in een lagere spanning. In de adapter waarmee je een mobiele telefoon oplaadt, zit een transformator die de netspanning van 230 V omzet in een spanning van ongeveer 5 V. Ook in het voedingskastje voor het practicum zit een transformator. Hiermee kun je van 230 volt een variabele spanning tussen 0 en 30 volt maken. Er zijn ook transformators die een lage spanning kunnen omzetten in een hogere spanning (figuur 15).

Chemische spanningsbronnen

Batterijen en accu's noem je **chemische spanningsbronnen**, omdat de spanning wordt opgewekt met behulp van een **chemische reactie**. Bij die reacties worden er stoffen uit de batterij verbruikt en ontstaan er nieuwe stoffen. Als de beginstoffen op zijn, levert de batterij of accu geen spanning meer: hij is 'leeg'.
Bij oplaadbare batterijen kun je de reacties ook in de omgekeerde richting laten verlopen. Dat gebeurt als je de batterij weer oplaadt. De stoffen die eerder in de batterij ontstonden, verdwijnen dan weer. Daarvoor in de plaats krijg je de beginstoffen terug, die je opnieuw kunt gebruiken.

Batterijen bevatten stoffen die schadelijk voor het milieu zijn en lege batterijen horen dus bij het klein chemisch afval (KCA). Dat geldt zowel voor oplaadbare als voor niet-oplaadbare batterijen. Oplaadbare batterijen zijn wel minder slecht voor het milieu, omdat ze veel langer meegaan (figuur 16).

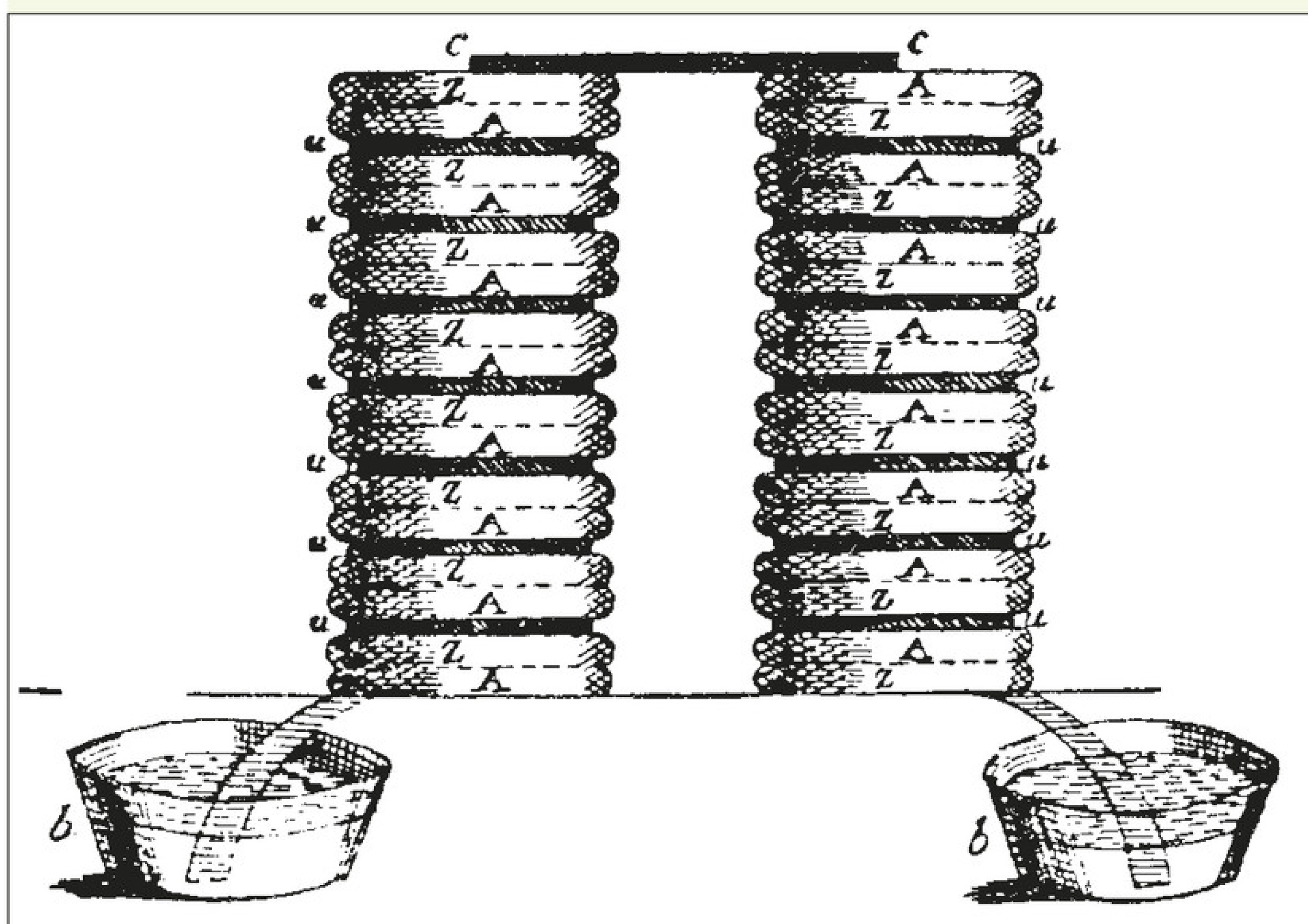


▶ **figuur 16**
Batterijen horen bij het klein chemisch afval.

Plus De uitvinding van de batterij

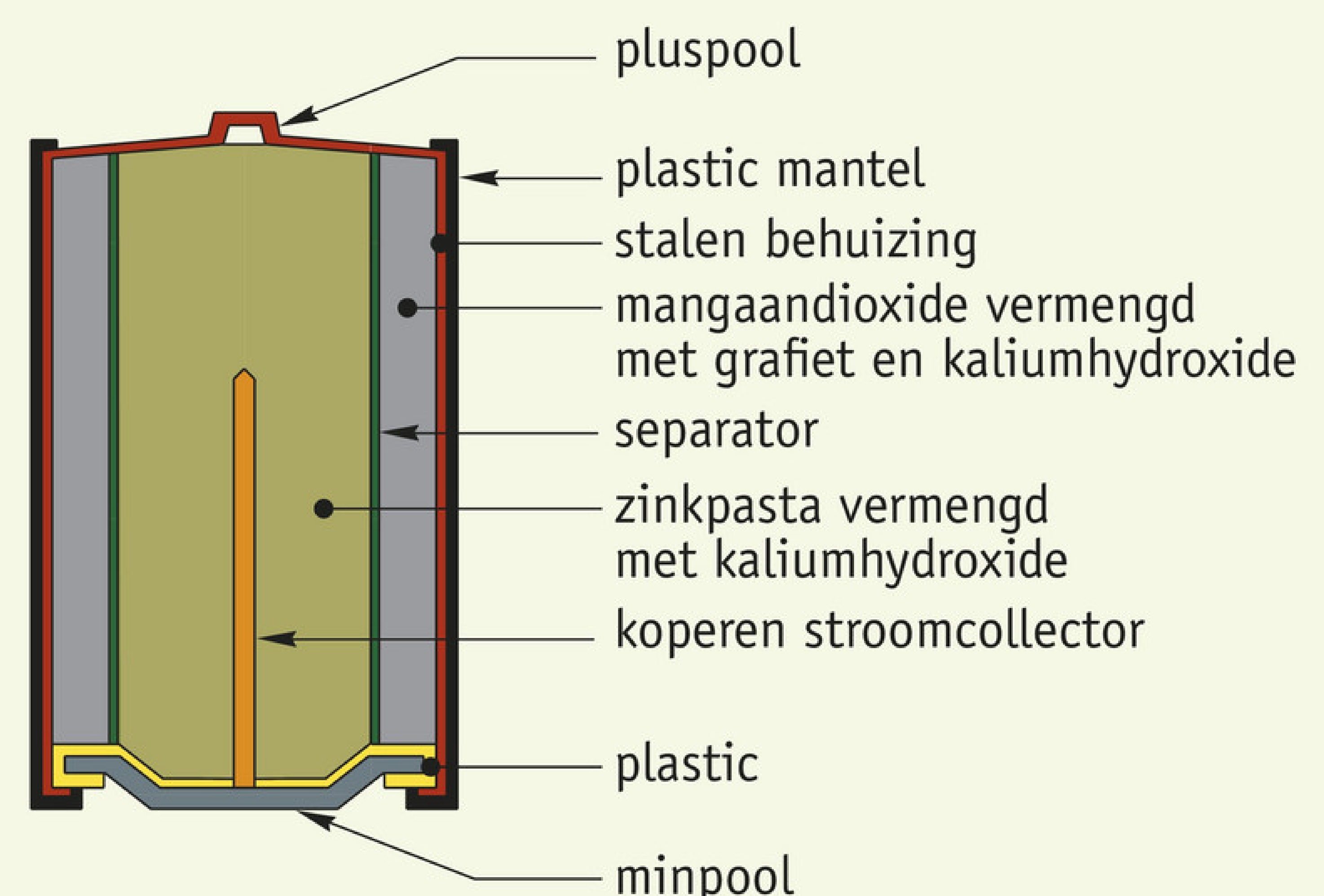


Alessandro Volta is de uitvinder van de batterij. Door onderzoek van zijn landgenoot Luigi Galvani werd hij op het goede spoor gezet. Galvani onderzocht in 1786 met een mesje de spieren van een kikkerpoot. Hij had de poten opgehangen aan een koperen haakje en het viel hem op dat ze samentrokken steeds wanneer hij ze met zijn ijzeren mesje aanraakte. Hij werd gefascineerd door die onverwachte ontdekking en verlegde zijn onderzoek van kikkerpoten naar elektriciteit. Na veel experimenteren trok hij de conclusie dat er elektriciteit wordt opgewekt als er twee verschillende metalen bij elkaar gebracht worden in een geleidende stof. Bij de kikkerpoot was de geleidende stof het lichaamsvocht.
Volta zag de mogelijkheden van Galvani's ontdekking en ging ermee verder. In 1797 maakte hij bekend dat hij een batterij had gemaakt. Het woord 'batterij' gebruikte hij overigens niet; zijn uitvinding wordt wel de 'zuil van Volta' genoemd (figuur 17). De zuil bestond uit op elkaar gestapelde schijfjes zink en zilver. Deze schijfjes werden gescheiden door stukjes vilt gedrenkt in een zuur- of een zoutoplossing. De 'eenheid' zink-vilt-zilver wordt een cel genoemd. Hoe meer cellen een batterij heeft, hoe meer spanning deze kan leveren.
Pas in 1836 kwamen er echt betrouwbare batterijen en in 1859 verscheen de eerste oplaadbare batterij, ofwel de accu.



▲ **figuur 17**
de zuil van Volta

Net als de cellen van Volta bestaan de batterijen van nu uit twee verschillende materialen (**elektroden**) en een zure stof of een zout (de **elektrolyt**). In figuur 18 zie je als voorbeeld de alkaline-batterij. De materialen van de elektroden zijn mangaan en zink. Beide stoffen zijn vermengd met een elektrolyt (kaliumhydroxide).



▶ **figuur 18**
doorsnede van een alkaline-batterij

opgaven

15 Beantwoord de volgende vragen.
a Noem vier soorten spanningsbronnen.
b Hoe kun je de spanning uitrekenen van vier in serie geschakelde batterijen?
c Waarom moeten apparaten die op 230 V werken, goed geïsoleerd worden?
d Welk apparaat zet de netspanning om in een lage spanning?

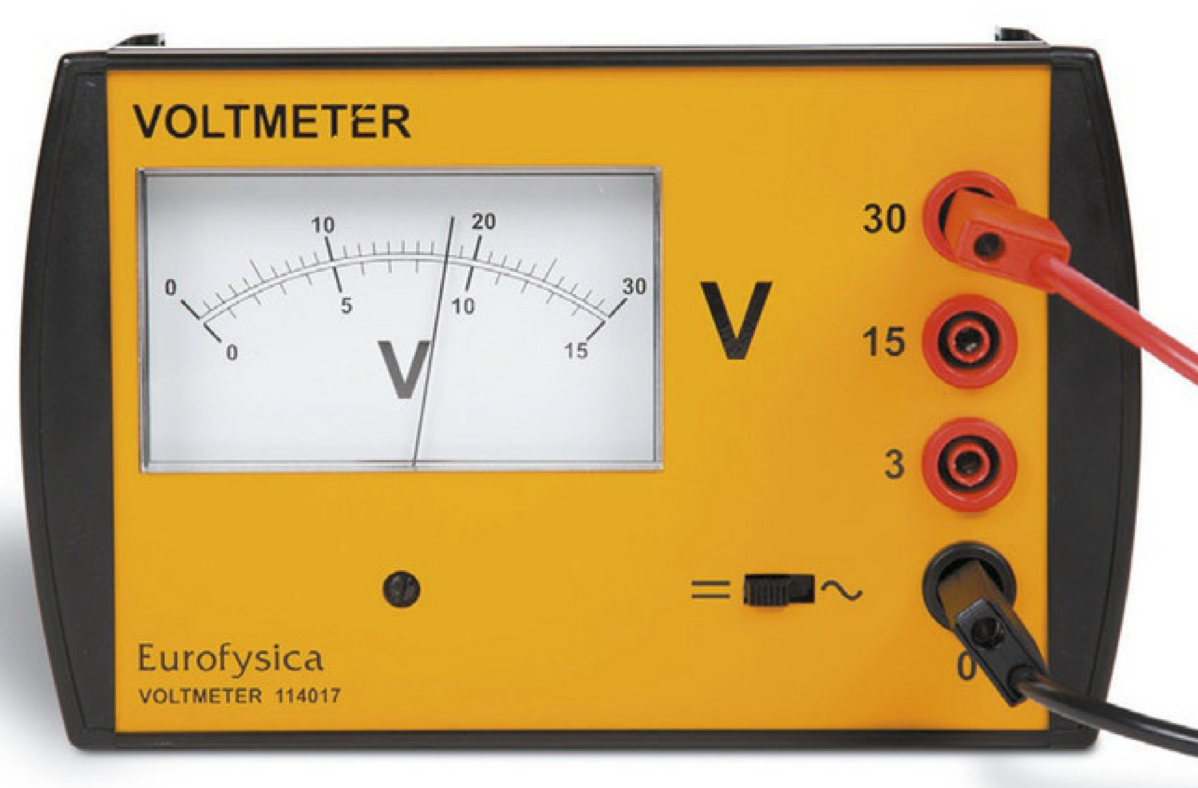
16 Een elektrische stroom bestaat uit kleine deeltjes die door een geleider bewegen.
a Welke grootheid geeft aan hoeveel deeltjes er per seconde voorbijkomen?
b Welke grootheid geeft aan hoeveel elektrische energie elk deeltje meeneemt?

17 Neem over en vul in.
a Met een … kun je meten hoeveel spanning een spanningsbron levert.
b De grootte van de spanning wordt gemeten in …, afgekort met de letter …
c Een vuistregel is dat spanningen tot … V geen risico opleveren.

18 In figuur 19 zie je drie foto's van een spanningsmeter. In vaardigheid 7 leer je hoe je een spanningsmeter afleest.
Lees de spanningen af die de meters aangeven en schrijf ze op.


Meer oefening nodig? Ga naar de V-trainer.







▲ **figuur 19**
Welke spanning geven de drie spanningsmeters aan?

19 Voor deze opgave heb je werkblad 5-1 nodig.
a Teken bij a hoe je de spanningsmeter moet aansluiten om 1,2 volt te meten.
b Teken bij b hoe je de spanningsmeter moet aansluiten om 2,4 volt te meten.
c Teken bij c hoe je de spanningsmeter moet aansluiten om 3,6 volt te meten.

***20** Een *Taser* is een stroomstootwapen dat in veel landen door de politie wordt gebruikt.
Als het wapen afgaat, worden er twee pijltjes aan een stroomdraad weggeschoten (figuur 20). Als die pijltjes iemand raken, krijgt die persoon een heel korte stroomstoot toegediend. De stroomstoot is erg pijnlijk en stelt de getroffen persoon tijdelijk buiten gevecht.

a Leg uit waarom een *Taser* twee pijltjes afschiet, en niet één.

b De spanning op de pijltjes is erg hoog: circa 50 000 V. Toch is een treffer van een *Taser* bijna nooit dodelijk.
Leg uit hoe dat mogelijk is.



▶ **figuur 20**
Zo werkt een *Taser*.

***21** Zoek op internet informatie over kattenschrikdraad.

a Hoe hoog is de maximale spanning die een schrikdraadgenerator produceert?

b Waarom geeft zo'n generator geen constante spanning af, maar korte pulsen?

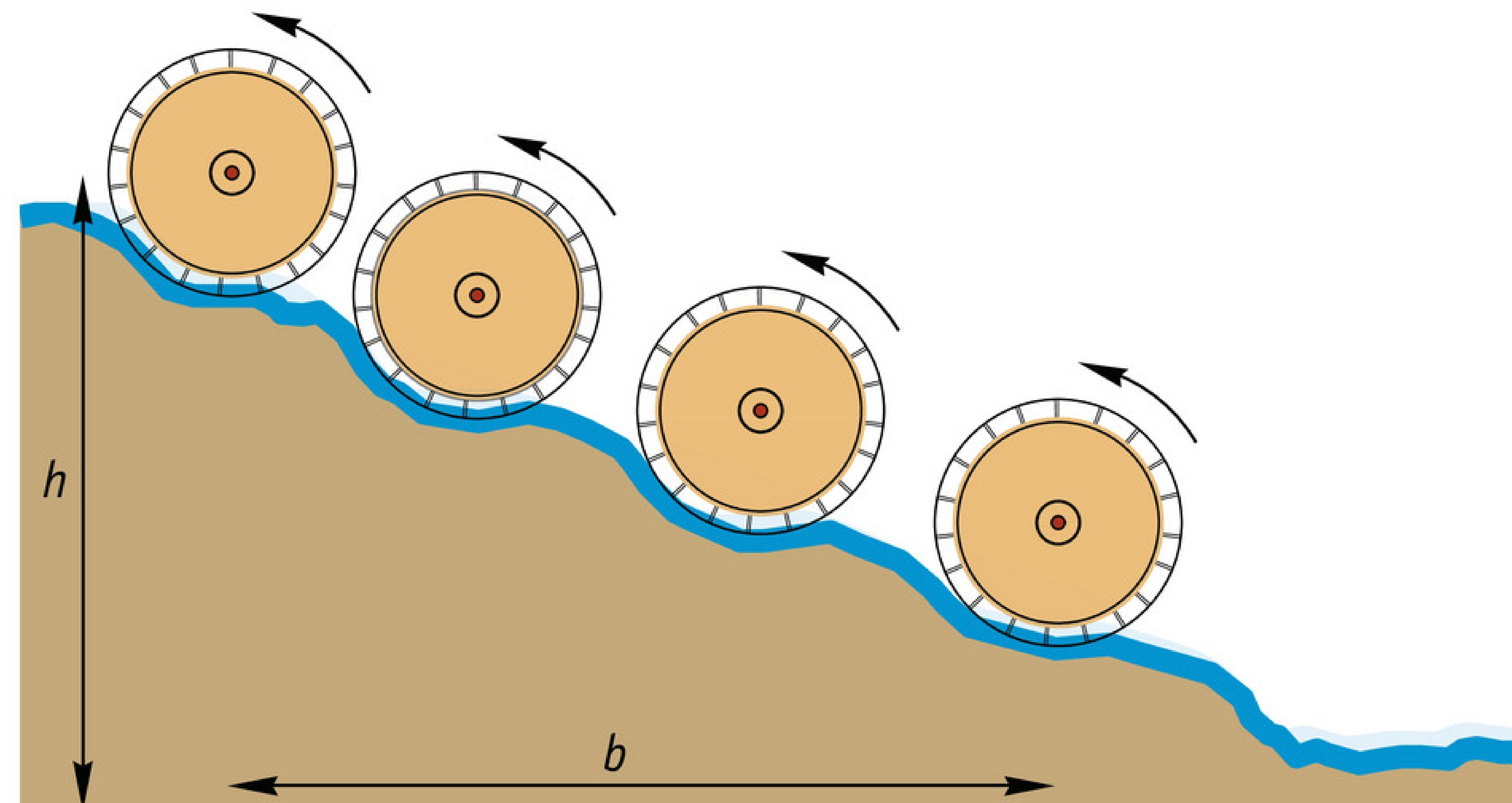
c Wat voelt een kat als die kort met de schrikdraad in aanraking komt?

d Maak een duidelijke tekening van de stroomkring die op dat moment ontstaat.

22 Soms wordt er gezegd: "Deze batterij is leeg". Maar een lege batterij weegt even veel als een volle.
Wat wordt er bedoeld met 'vol' en 'leeg' als het over batterijen gaat?
Gebruik het woord 'reactie' in je antwoord.

***23** Eerder in dit hoofdstuk las je over de analogie waarbij een elektrische schakeling vergeleken wordt met tankauto's. Een andere analogie werkt met water.
Als een riviertje langs een helling naar beneden stroomt kun je in dat riviertje een waterrad zetten. Dat rad gaat dan draaien en kan bijvoorbeeld een molensteen aandrijven. Je kunt ook meerdere watermolens achter elkaar laten draaien (figuur 21).

- **a** Welke eigenschap van figuur 21 komt overeen met de spanning van de spanningsbron: de hoogte *h*, de afstand *b* of het aantal raderen?
- **b** Hoe wordt uit figuur 21 duidelijk dat een hogere spanning meer energie geeft?
- **c** Waarmee komt de stroomsterkte overeen in deze analogie?



▶ **figuur 21**
een stroom van water

Plus De uitvinding van de batterij

24 Galvani deed experimenten met kikkerpoten.
Wat toonden zijn experimenten aan over de rol van elektriciteit in het lichaam van levende wezens?

25 In figuur 23 zie je drie alkaline-batterijen van 1,5 V en een van 4,5 V.
Leg de volgende uitspraak uit: "een 4,5 V-batterij bestaat uit drie cellen".

26 💻 Zoek op internet informatie over auto-accu's.

- **a** Hoe groot is de spanning die een auto-accu levert?
- **b** Op welke manier wordt een auto-accu opgeladen?
- **c** Welke schadelijke stoffen zitten er in een auto-accu?
- **d** Wat zijn de gevaren voor het milieu en voor jezelf van een auto-accu?
- **e** Wat doe je met een auto-accu als die oud en versleten is?



◀ **figuur 22**
batterijen

3 Schakelingen

Een ontwerper van een elektrisch apparaat legt de manier waarop de schakelaars, een controlelampje, de snoeren, enzovoort met elkaar verbonden zijn vast in een technische tekening. Die tekening laat de schakeling zien.

component	symbool
snoer	
batterij	
lampje	
schakelaar	open dicht
spanningsmeter	V
stopcontact	
zoemer	
motor	M
led	

▲ **figuur 23**
symbolen voor schakelschema's

Schakelingen tekenen Proef 3 en 4

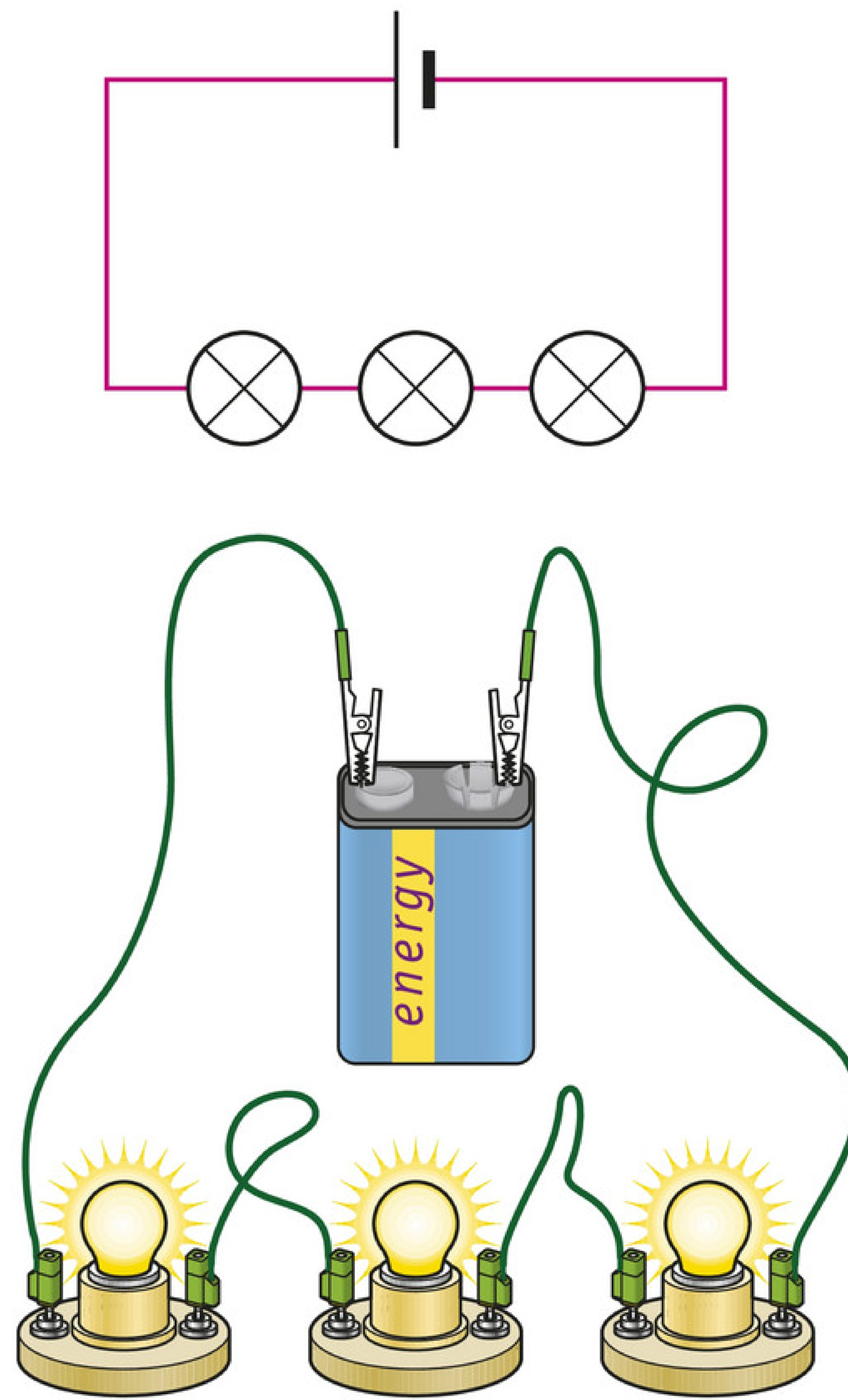
Als je iemand wilt uitleggen hoe een bepaalde **schakeling** in elkaar zit, kun je het best een tekening gebruiken. Er zijn speciale symbolen bedacht om overzichtelijke tekeningen van schakelingen te kunnen maken (figuur 23). Die symbolen zijn over de hele wereld hetzelfde zodat een technicus uit Gambia moeiteloos de tekening van een apparaat uit China kan begrijpen. Zo'n tekening noem je een **schakelschema** (zie figuur 24). Schakelschema's zijn onmisbaar bij proeven met elektriciteit. Het schema vertelt je welke onderdelen je nodig hebt en hoe je die met elkaar verbindt. Nadat je alle onderdelen hebt verzameld, bouw je de schakeling aan de hand van het schema. Soms moet je zelf een schakelschema tekenen.
Schakelschema's worden ook gebruikt bij het ontwikkelen van elektrische en elektronische apparaten. Eerst maakt het ontwerpteam een schakelschema waarop alle onderdelen en hun verbindingen schematisch zijn weergegeven. Als dat schema is goedgekeurd, bedenkt het team hoe de schakeling het best (en het goedkoopst) in elkaar gezet kan worden.

Serieschakelingen Proef 5 en 6

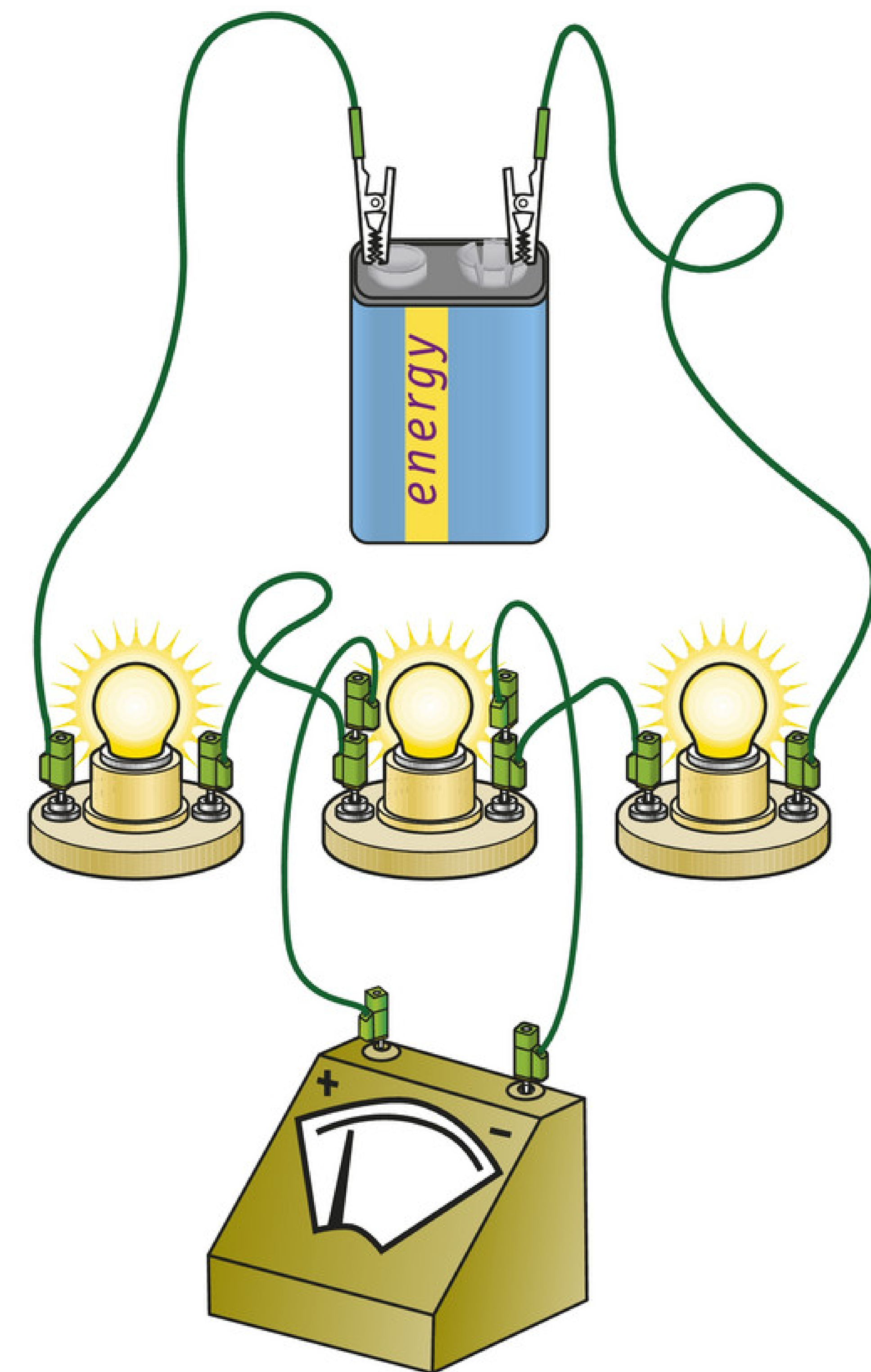
In figuur 24 zie je een **serieschakeling** met drie lampjes. Een serieschakeling heeft geen vertakkingen: er is maar één stroomkring. Als er één lampje stukgaat, is de stroomkring verbroken: alle lampjes gaan dan uit. Het is daarom niet praktisch om lampen in serie te schakelen. Je wilt dat de andere lampen blijven werken als er één lamp kapotgaat.

Je schakelt een schakelaar juist wel in serie met het apparaat dat aan- of uitgezet moet worden. Als je de schakelaar op UIT zet, open je de stroomkring en gaat het apparaat uit. Als je de schakelaar op AAN zet, sluit je de stroomkring en gaat het apparaat weer aan.

De stroomsterkte in een serieschakeling is overal even groot. Het maakt in figuur 24 niet uit waar je de stroomsterkte meet: tussen de batterij en het eerste lampje, tussen het eerste en het tweede lampje, tussen het tweede en het derde lampje of tussen het derde lampje en de batterij. Je krijgt steeds dezelfde meetwaarde.

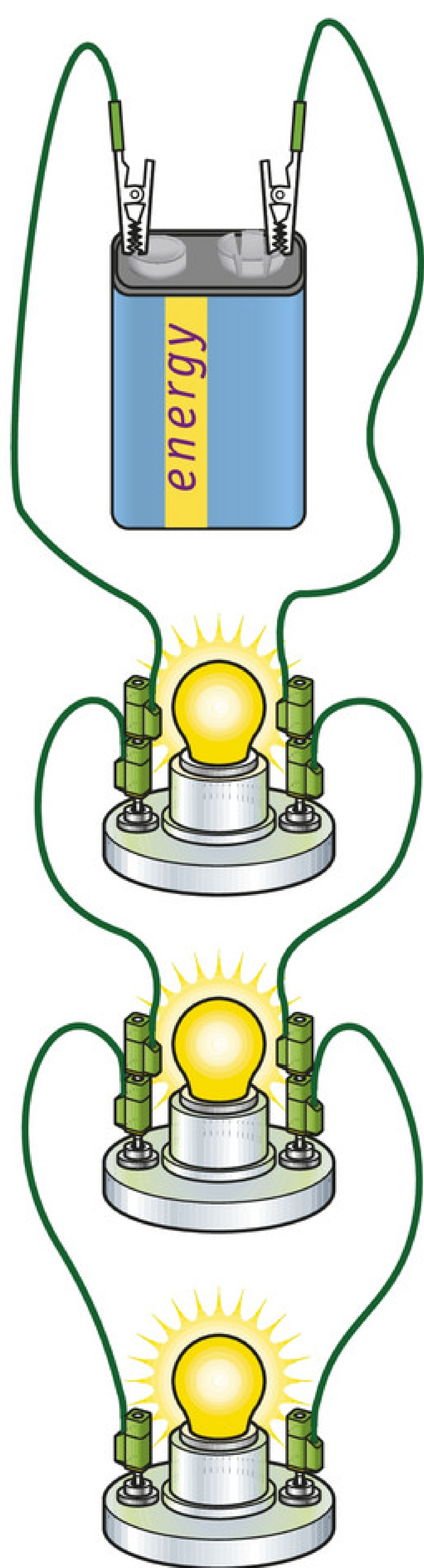


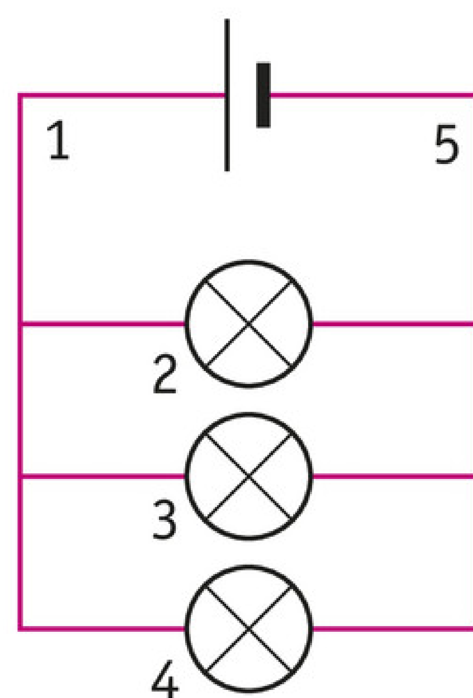
▲ figuur 24
een serieschakeling van drie lampjes



▲ figuur 25
de spanning over één lampje meten

De elektrische energie die de deeltjes bij zich hebben, wordt over de drie lampjes verdeeld. Als je drie identieke lampjes hebt gebruikt, dan krijgt elk lampje een derde van de **bronspanning** (de spanning van de batterij). Dat kun je nagaan door de spanning over één lampje te meten, zoals in figuur 25 is getekend.





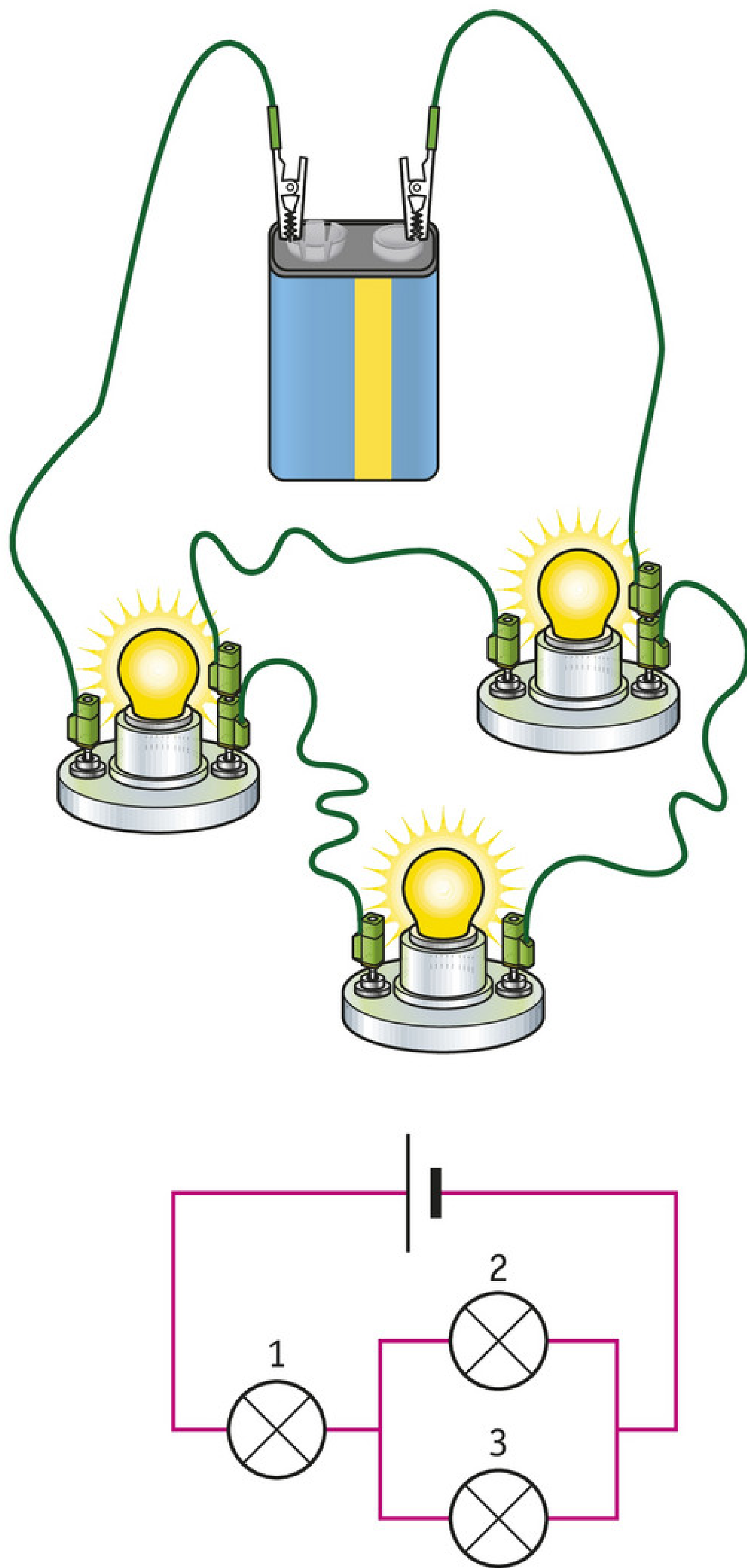
▲ figuur 26
een parallelschakeling van drie lampjes (a) met het schakelschema (b)

Parallelschakelingen Proef 7

Elektrische apparaten worden bijna altijd parallel geschakeld. Dat heeft drie voordelen:

1 Je kunt elk apparaat met een eigen schakelaar aan- en uitzetten.
2 Als één apparaat kapotgaat, kunnen de andere apparaten blijven werken.
3 Elk apparaat krijgt de volledige spanning van de spanningsbron.

In figuur 26 zie je een **parallelschakeling** van drie lampjes. Elk lampje is rechtstreeks aangesloten op de bronspanning van 4,5 volt. De schakeling vertakt zich om elk lampje apart van elektrische energie te kunnen voorzien. De parallelschakeling bestaat dus uit drie stroomkringen die elk apart geopend en gesloten kunnen worden.
Op de plaats waar een parallelschakeling zich vertakt, splitst de stroom zich. In figuur 26 splitst de stroom zich in drieën. De stroomsterkte in de onvertakte gedeelten (bij 1 en 5) wordt de **totale stroomsterkte** genoemd. De stroomsterkte in de takken (bij 2, 3 en 4) is steeds een derde van de totale stroomsterkte. In een parallelschakeling is de stroomsterkte dus niet overal even groot, zoals in een serieschakeling.



Gemengde schakelingen Proef 8

In een **gemengde schakeling** zijn sommige onderdelen in serie geschakeld en andere parallel. In figuur 27 zie je een voorbeeld van zo'n gemengde schakeling: de lampjes 2 en 3 zijn parallel aan elkaar geschakeld, maar staan samen in serie met lampje 1.

Een gemengde schakeling gedraagt zich anders dan een serieschakeling of een parallelschakeling. Als je lampje 1 losdraait, gaan de lampjes 2 en 3 ook uit. Je hebt dan geen gesloten stroomkring meer. Maar als je lampje 2 losdraait, blijven de lampjes 1 en 3 branden. Dat komt doordat er dan nog steeds een gesloten stroomkring is.

Vaak kun je beredeneren hoe groot de stroomsterkte is op verschillende plaatsen in een gemengde schakeling. Lampje 1 brandt bijvoorbeeld feller dan lampje 2 en 3. Ga maar na: alle stroom die door lampje 2 en door lampje 3 gaat, moet ook door lampje 1 gaan. Door lampje 1 loopt dus even veel stroom als door lampje 2 en 3 samen.

◀ **figuur 27**
een gemengde schakeling van drie lampjes

Plus Weerstand

Je kunt de weerstand meten met een weerstandsmeter of ohmmeter. Zo'n meter werkt anders dan een spannings- of een stroommeter. Die laatste twee sluit je aan op een bestaande schakeling waarin al een spanningsbron is opgenomen. Bij een weerstandsmeter is dat niet zo. Het apparaat waarvan je de weerstand wilt weten, sluit je aan op de weerstandsmeter. Die heeft een eigen batterij en het apparaat krijgt dan de spanning van de batterij in de weerstandsmeter. Er gaat dan een stroom lopen. De weerstand van het apparaat bepaalt hoe groot die stroom is. De weerstandsmeter meet de stroom en berekent de weerstand. Die waarde zie je dan op de schaalverdeling of op het scherm. De eenheid van weerstand is ohm met als symbool Ω.

Als je apparaten in serie schakelt, wordt de **totale weerstand** groter. Dat is ook wel logisch. Als je twee lampjes in serie zet, moet de stroom eerst door het ene lampje en daarna ook nog eens door het tweede lampje. Je mag weerstanden in een serieschakeling bij elkaar optellen.

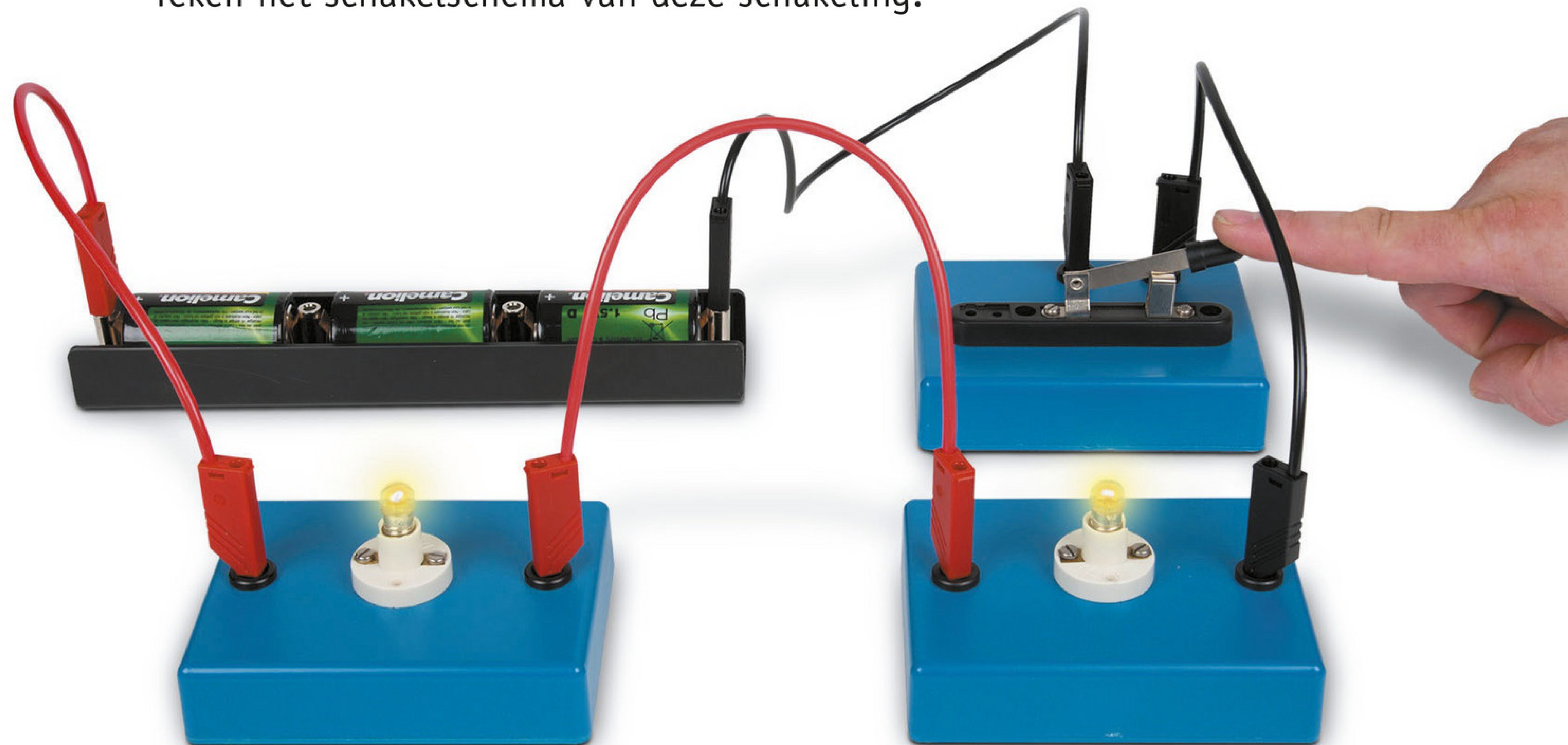
Als je weerstanden parallel schakelt is dat anders. Stel, je hebt één lampje aangesloten op een batterij en je meet de stroom die de batterij levert. Je schakelt vervolgens een tweede lampje parallel. Het eerste lampje krijgt nog steeds de volle spanning van de bron en die stroom blijft hetzelfde. Maar er is nu een tweede stroomkring. De batterij levert in deze situatie twee keer zoveel stroom. Vanuit de batterij bekeken is de totale weerstand dus twee keer zo klein geworden.

opgaven

27 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** In welk soort schakeling is de stroomsterkte op alle plaatsen even groot?
- **b** Waarom worden elektrische apparaten bijna altijd parallel geschakeld?
- **c** Wat wordt er bedoeld met de totale stroomsterkte in een parallelschakeling?

28 Teken het schakelsymbool van:
- **a** een lampje;
- **b** een schakelaar;
- **c** een spanningsmeter.

29 In figuur 28 zie je een foto van een schakeling.
Teken het schakelschema van deze schakeling.



▶ **figuur 28**
een schakeling

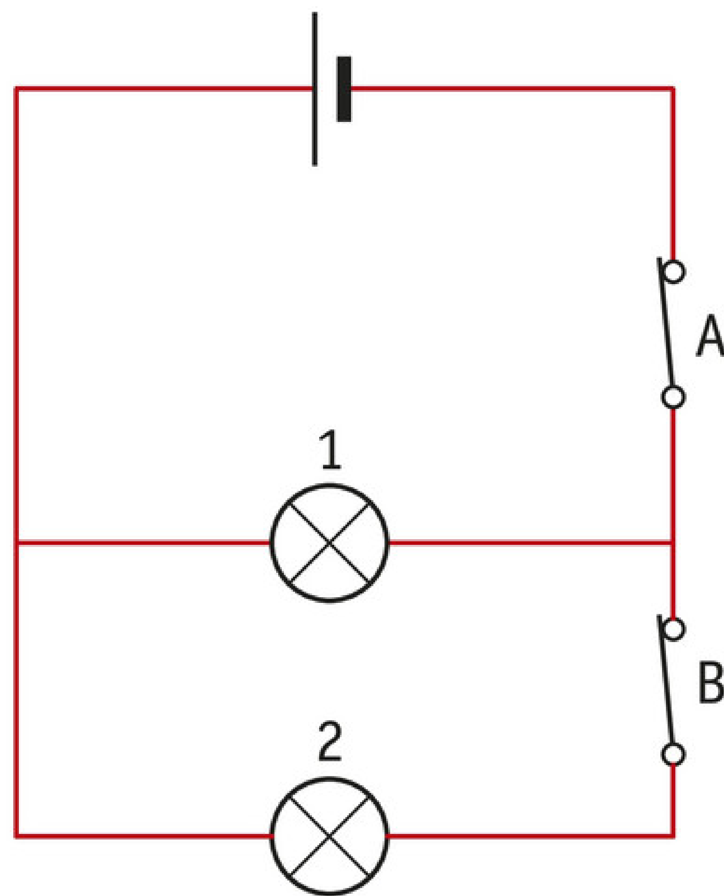
30 Benno schakelt drie identieke lampjes in serie. Hij sluit de lampjes daarna aan op een batterij van 9 V.
- **a** Beredeneer hoe groot de spanning is die elk lampje dan krijgt.
- **b** Benno ziet dat de lampjes maar flauw branden. Zijn docent zegt dat de lampjes beter zullen branden als Benno de bronspanning verhoogt tot 18 V. "Pak maar een tweede batterij," zegt hij, "daarmee lukt het wel." Leg uit hoe Benno de twee batterijen dan moet schakelen.
- **c** Op welke spanning brandt elk lampje als de bronspanning 18 V is?

31 Anton heeft drie dezelfde lampjes. Ze zijn parallel aangesloten op een batterij. Een van de lampjes gaat kapot.
Voor de andere twee lampjes geldt:
- **A** Die gaan ook uit.
- **B** Die gaan feller branden.
- **C** Die gaan minder fel branden.
- **D** Die blijven even fel branden.

32 Een auto heeft knipperlichten, remlichten, koplampen, achterlichten, enzovoort.
Hoe zijn deze lampen geschakeld: in serie of parallel? Licht je antwoord toe.

33 Aranka heeft vier dezelfde lampjes en twee batterijen van 4,5 V. Ze sluit twee lampjes in serie aan op een van de batterijen. De andere twee sluit ze parallel aan op de andere batterij.

- **a** Teken de beide schakelschema's.
- **b** Leg uit welk verschil Aranka merkt tussen beide schakelingen als een van de twee lampjes kapot gaat.
- **c** Welke lampjes zullen feller branden: de lampjes in serie of de lampjes parallel?
- **d** Teken nogmaals het schakelschema met de lampjes parallel, maar voeg nu een schakelaar toe waarmee je een van de lampjes aan en uit kunt zetten.



▲ **figuur 29**
een schakeling

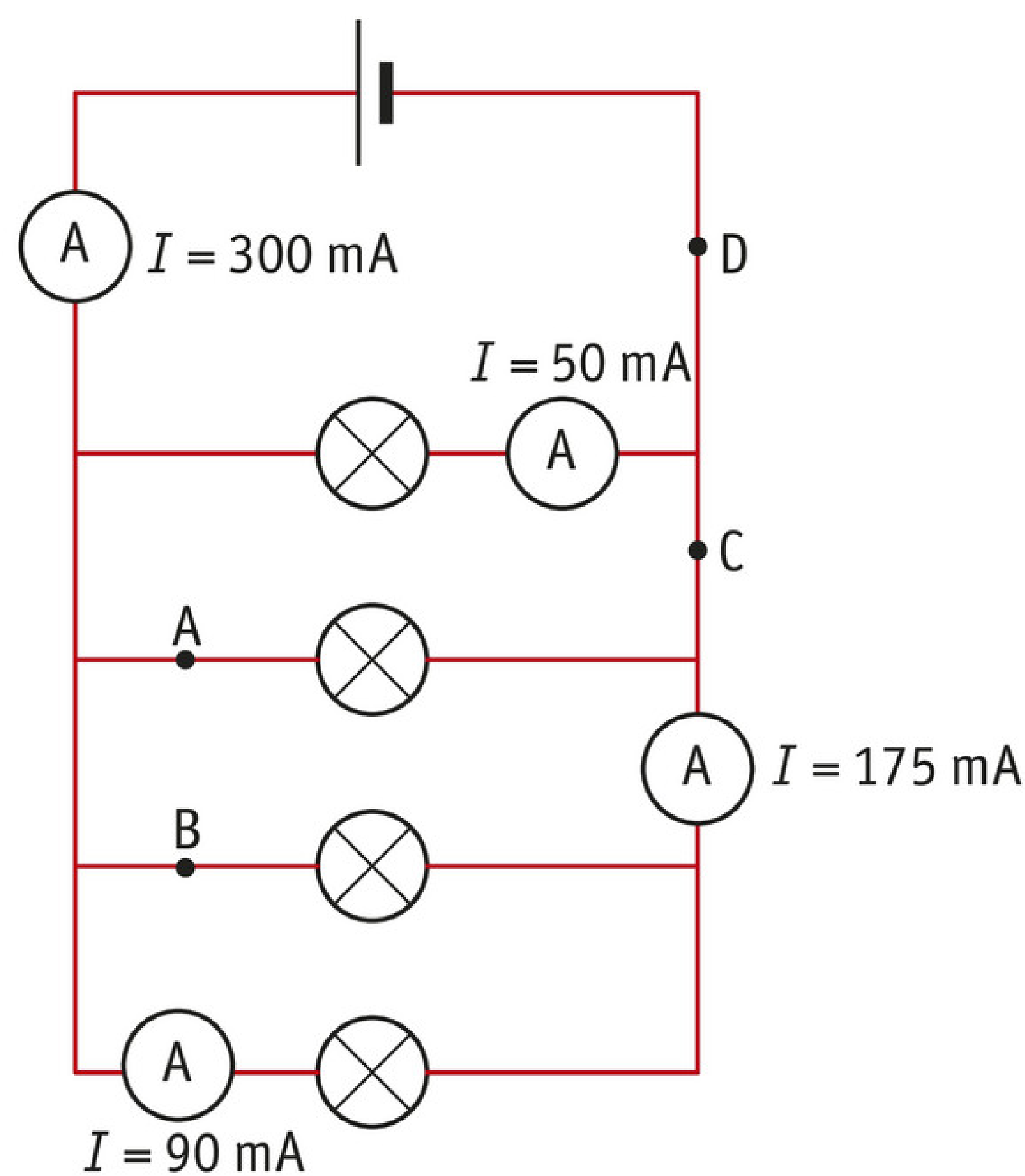
34 Bekijk de schakeling in figuur 29.
Noteer welke lampjes branden:

- **a** als schakelaar A open is en schakelaar B gesloten;
- **b** als schakelaar B open is en schakelaar A gesloten;
- **c** als de twee schakelaars allebei gesloten zijn.

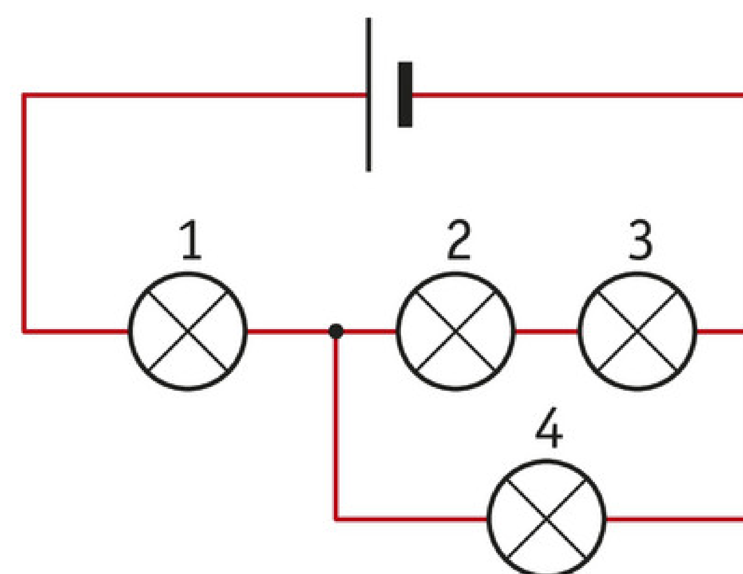
35 Arno heeft de schakeling van figuur 30 gemaakt. Hij heeft op vier punten de stroomsterkte gemeten.
Beredeneer hoe groot de stroomsterkte is in de punten A t/m D.

36 Bekijk de schakeling in figuur 31. Alle lampjes zijn identiek.

- **a** Welke lampjes gaan uit als je lampje 1 losdraait?
- **b** Welke lampjes gaan uit als je lampje 2 losdraait?
- **c** Welke lampjes gaan uit als je lampje 3 losdraait?
- **d** Welke lampjes gaan uit als je lampje 4 losdraait?
- **e** Waarom brandt lampje 1 het felst?



▲ **figuur 30**
de schakeling van Arno



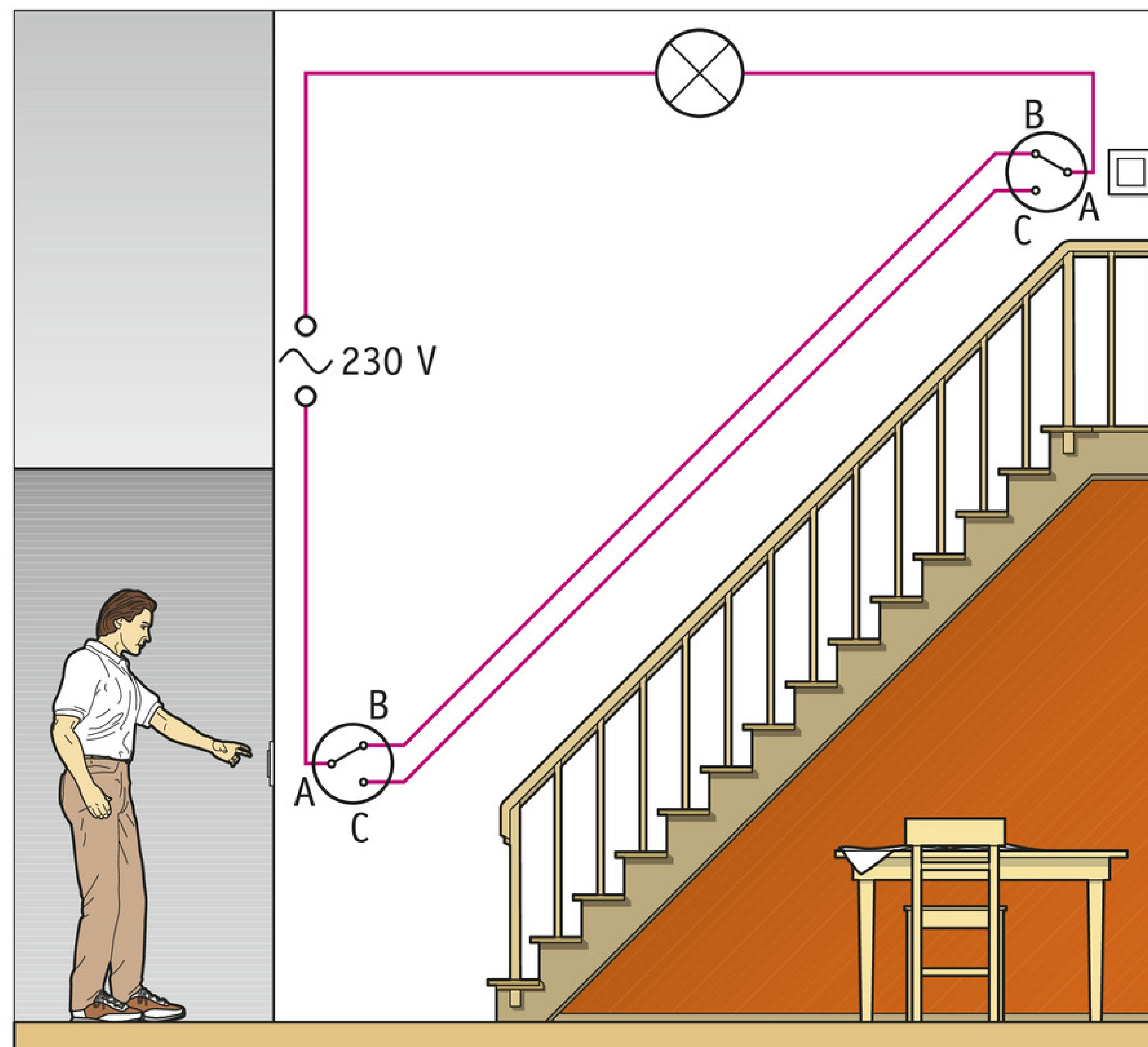
▲ **figuur 31**
een schakeling met vier lampjes

***37** In opgave 23 zag je de analogie van een waterstroom waarmee watermolens worden aangedreven.

a Met welke schakeling kun je de situatie van figuur 21 vergelijken: serie of parallel?

b Maak een tekening met hetzelfde aantal watermolens als in figuur 21, maar dan voor de andere soort schakeling (dus nu in serie als je bij vraag a parallel hebt geantwoord of andersom).

***38** In figuur 32 zie je een schakeling bij een trap met twee zogenaamde wisselschakelaars.
Leg uit waarom deze schakeling handig is.



▶ **figuur 32**
wisselschakelaar bij een trap

Plus Weerstand

39 Een wegversmalling kun je zien als een weerstand voor de stroom auto's. Waar zit de weerstand als een grote groep mensen op hetzelfde moment de bioscoop wil verlaten?

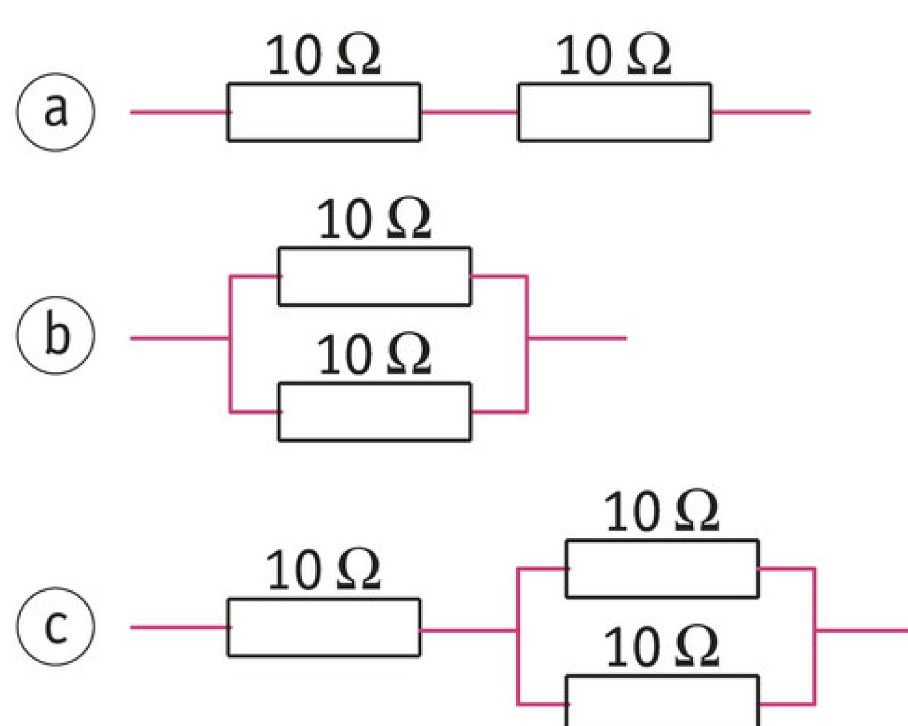
40 Leg uit waarom de weerstand kleiner wordt als je meer lampjes parallel schakelt.

41 Een led-lampje brandt op 6,0 V en heeft dan een weerstand van 12 Ω.

a Hoe groot is de weerstand van drie led-lampjes in serie?

b Hoe groot is de weerstand van drie led-lampjes parallel?

***42** In schakelingen worden vaak opzettelijk onderdelen ingebouwd die de stroomsterkte een beetje beperken. Zo'n onderdeel heet een weerstandje en je tekent het in een schakeling als een rechthoekje. In figuur 33 zie je een aantal schakelingen van weerstandjes van elk 10 Ω.
Beredeneer bij elke schakeling hoe groot de weerstand van het geheel is.



▲ **figuur 33**
drie schakelingen

4 Vermogen en energie



▲ **figuur 34**
Op verpakkingen van lampen wordt altijd het (maximale) vermogen vermeld.

Je hebt niet zoveel aan een mobieltje dat je steeds moet opladen. Daarom is het belangrijk dat een telefoon zo efficiënt mogelijk omgaat met de beschikbare elektrische energie. Hoe zuiniger het apparaat, des te langer het duurt voordat de batterij weer opgeladen moet worden.

Het vermogen van een apparaat

Een laptop verbruikt in dezelfde tijd meer elektrische energie dan een tablet. Je zegt dat een laptop vergeleken met een tablet een groter vermogen heeft. Het **vermogen** geeft aan hoeveel elektrische energie een apparaat per seconde verbruikt (figuur 34). Het vermogen wordt opgegeven in **watt** (W), soms in milliwatt (mW) of in kilowatt (kW). De eenheid watt is vernoemd naar James Watt (1736-1819), een uitvinder die gezorgd heeft voor een grote verbetering van de stoommachine.

Het vermogen van sommige apparaten is heel veranderlijk. Bij een mobiele telefoon stijgt het vermogen bijvoorbeeld sterk als je belt of gebruikmaakt van internet. Op stand-by is het vermogen juist heel klein. Als het vermogen niet altijd even groot is, wordt de maximale waarde aangegeven. Er zijn ook apparaten die wel een constant vermogen hebben, zoals een zaklantaarn of een elektrische klok.

Het vermogen berekenen

Het vermogen van een apparaat hangt af van twee factoren: (1) de spanning waarop het apparaat werkt, en (2) de stroomsterkte die door het apparaat loopt. Dat is logisch als je kijkt naar wat de grootheden spanning en stroomsterkte inhouden. Zoals gezegd is stroom een beweging van deeltjes. De spanning vertelt je hoeveel energie één deeltje aan het apparaat levert. De stroomsterkte vertelt je hoeveel deeltjes per seconde hun energie afgeven. Samen bepalen ze het vermogen.

De analogie met de tankauto's uit paragraaf 2 kan je helpen om dit te begrijpen. Je kunt het vermogen vergelijken met de hoeveelheid benzine die per uur bij een tankstation wordt afgeleverd. Die hoeveelheid hangt af van twee factoren: (1) hoeveel benzine elke tankauto aflevert (de 'spanning') en (2) hoeveel tankauto's er per uur hun lading komen afgeven (de 'stroomsterkte').

Je kunt het vermogen daarom berekenen met de formule:

vermogen = spanning × stroomsterkte

Of in symbolen:

$P = U \cdot I$

Als je de spanning U invult in volt en de stroom I in ampère, vind je het vermogen P in watt (W).
Deze formule kun je niet alleen gebruiken om het vermogen van een apparaat te berekenen. Je kunt er ook het vermogen mee berekenen dat een spanningsbron levert.

Voorbeeldopgave 1
Op een elektrische verwarmingsplaat staat: 230 V, max. 6,5 A.
Bereken het maximale vermogen en geef het antwoord in kilowatt.

gegevens $U = 230$ V
$I = 6{,}5$ A

gevraagd $P = ?$

uitwerking $P = U \cdot I$
$= 230 \times 6{,}5$
$= 1495$ W
$= 1{,}495$ kW
Afgerond is dat: 1,5 kW.

Vermogen, tijd en energieverbruik

Apparaten als telefoons of tablets kunnen maar een beperkte tijd op de batterij werken. Hoe groter het vermogen van het apparaat, des te sneller zal de batterij weer leeg zijn. Er zijn daarom allerlei manieren bedacht om het vermogen van een apparaat laag te houden.
Het vermogen van een apparaat is de optelsom van de vermogens van de verschillende onderdelen. De ontwerpers van zo´n apparaat kiezen daarom onderdelen die zuinig zijn met energie. Als twee beeldschermen ongeveer dezelfde prestaties leveren, krijgt het beeldscherm met het laagste vermogen de voorkeur.
Ook de software helpt mee om het vermogen laag te houden. Als je een mobiele telefoon of een tablet even niet gebruikt, schakelt de software zo veel mogelijk onderdelen uit. Het beeldscherm gaat bijvoorbeeld al na enkele seconden op zwart (figuur 35). Hierdoor daalt het totale vermogen van het apparaat meteen.



▲ **figuur 35**
Een smartphone gaat op zwart.

Maar aan het verlagen van het vermogen zit een grens. Daarom wordt er ook veel onderzoek gedaan naar het vergroten van de opslagcapaciteit van batterijen en accu's. Als een batterij meer elektrische energie kan opslaan, kan een apparaat er – bij hetzelfde vermogen – langer op werken.



▲ **figuur 36**
Op deze drie batterijen staat de capaciteit duidelijk aangegeven.

De capaciteit van een oplaadbare batterij

Bij de ene oplaadbare batterij duurt het veel langer tot deze leeg is dan bij de andere. Je kunt dat zien aan de **capaciteit** die op de batterij vermeld staat (figuur 36). De capaciteit van batterijen wordt meestal opgegeven in de eenheid milliampère-uur (mAh).
De capaciteit C bereken je door de geleverde stroom I te vermenigvuldigen met de tijd t dat de batterij die stroom kan leveren. De formule voor de capaciteit is dus:

$$C = I \cdot t$$

Als je de stroomsterkte I invult in mA en de tijd t in uren (h), dan vind je de capaciteit C in mAh.
Een batterij met een capaciteit van 2000 mAh kan 200 uur lang een stroom van 10 mA leveren. Of 20 uur lang een stroom van 100 mA. Bij 500 mA is hij al na 4 uur leeg.

Plus Energieverbruik berekenen

Om te weten te komen hoe groot de gebruikskosten van een elektrisch apparaat zijn, moet je het **energieverbruik** berekenen. Je weet al dat het vermogen de hoeveelheid energie is die een apparaat per seconde verbruikt. Dan kun je het energieverbruik dus uitrekenen door het vermogen van het apparaat te vermenigvuldigen met de tijd die het heeft aangestaan.
Met andere woorden:

energieverbruik = vermogen × tijd

of in symbolen:

$$E = P \cdot t$$

Je kunt die formule op twee manieren invullen:
1 Als je het vermogen P invult in watt (W) en de tijd t in seconden (s), dan vind je het energieverbruik E in joule (J). De **joule** is de eenheid van energie.
2 Als je het vermogen P invult in kilowatt en de tijd t in uren, dan krijg je de energie in kilowattuur (kWh). De **kilowattuur** is een handige eenheid als het om grote hoeveelheden energie gaat.

De eenheden J en kWh kun je niet alleen gebruiken voor het energieverbruik van apparaten, maar ook voor de levering van energie. Bijvoorbeeld voor de energie die voedsel levert. Op etiketten op levensmiddelen (figuur 37) staat die meestal in kilojoule per 100 gram (kJ per 100 g). Soms staat er ook nog de oude eenheid calorie (1 cal = 4,2 J).



▲ **figuur 37**
een etiket met informatie over energie

opgaven

43 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Met welke formule kun je het vermogen van een apparaat berekenen?
- **b** Waarom wordt het vermogen van een mobiele telefoon zo laag mogelijk gehouden?
- **c** Hoe helpt de software van een telefoon om het vermogen laag te houden?

44 Neem tabel 1 over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 1** elektrische grootheden en eenheden

grootheid	symbool	eenheid	symbool
spanning			
		ampère	
	P		
			Ah

45 Het beeldscherm van Franks computer werkt op een spanning van 12 V. Als het beeldscherm aan staat, is de stroomsterkte 2,0 A.
- **a** Bereken het vermogen van het beeldscherm.
- **b** In de slaapstand is het vermogen 0,6 W.
  Bereken de stroomsterkte in de slaapstand.

46 In ontwikkelingslanden is er vaak geen goede elektriciteitsvoorziening. Met het oog daarop is de *Firefly Solar Led Light* ontwikkeld (figuur 38). In deze lamp zitten twaalf led-lampjes en een oplaadbare batterij van 1,2 V. De batterij wordt opgeladen met het bijgeleverde zonnepaneeltje.
Door één led loopt een stroom van 18 mA als hij brandt. De leds zijn parallel geschakeld.
- **a** Bereken de totale stroomsterkte als alle twaalf led-lampjes branden.
- **b** Bereken het totale vermogen van de lamp.
- **c** Leg uit waarom de lamp niet rechtstreeks op het zonnepaneel wordt aangesloten, maar op een oplaadbare batterij werkt.
- **d** Ronald zegt: "Dit is een toffe lamp. Ik laat de lamp op het zonnepaneel schijnen. Dat paneel maakt elektriciteit en daar kan de lamp weer op branden. Zo heb je een lamp die altijd brandt, ook als er geen zonlicht op valt."
  Ronalds redenering klopt niet. Leg uit waar zijn redeneerfout zit.



▶ **figuur 38**
de *Firefly Solar Led Light*, een lamp die met een zonnepaneel wordt opgeladen

***47** Op de adapter van een laptop staat aan de ene kant 230 V / 0,4 A. Aan de kant die je op je laptop aansluit staat 19 V / 4,7 A.
Bereken hoeveel vermogen er in de adapter verloren gaat in de vorm van warmte.

***48** Een elektrische fiets gebruikt ongeveer 175 W als je zelf niet meetrapt. Je kunt dan op een volle accu 50 km fietsen. Als je wel meetrapt, gebruikt de motor ongeveer 70 W.
- **a** Hoe ver kom je op een volle accu als je meetrapt?
- **b** Maakt het voor de afstand die je op een volle accu kunt afleggen, ook uit of je wind mee of wind tegen hebt? Licht je antwoord toe.

49 Een accu heeft een capaciteit van 2900 mAh en levert een spanning van 3,7 V. Joris gebruikt deze accu in zijn mp3-speler. Door de mp3-speler gaat een stroom van 0,1 A.
- **a** Bereken na hoeveel uur Joris de accu moet opladen.
- **b** Bereken het vermogen van zijn mp3-speler.

50 De oplaadbare batterij in figuur 39 levert een spanning van 1,2 V. Je gebruikt hem in een zaklantaarn met een lampje met een vermogen van 2,4 W.
- **a** Bereken de stroomsterkte door het lampje.
- **b** Lees uit figuur 39 af hoe groot de capaciteit van de batterij is.
- **c** Bereken na hoeveel tijd de batterij weer opgeladen moet worden.



▲ **figuur 39**
een oplaadbare batterij

Plus Energieverbruik berekenen

51 Een elektrische verwarmingsplaat heeft een vermogen van 900 W.
Bereken het energieverbruik in kJ en in kWh als de plaat een half uur aan staat.

52 Op het etiket van levensmiddelen staat vaak de energie in joule en in calorie aangegeven. Op een pot jam staat 1030 kJ (245 kcal).
Ga na of dat klopt.

***53** Op de achterkant van een koelkast zit een metalen plaatje waarop staat: 230 V – 50 Hz – 70 W. Vader Smit schat dat het gezin per jaar 100 euro kwijt is aan het energieverbruik van de koelkast. Zijn dochter Babette gaat dit eens narekenen. Op de energienota ziet zij dat 1,0 kilowattuur energie 21 eurocent kost.
- **a** Hoeveel uur staat de koelkast per jaar aan als hij 10% van de tijd aan staat?
- **b** Hoeveel kilowattuur energie verbruikt de koelkast in een jaar?
- **c** Klopt de schatting van vader Smit?
- **d** Waarom zou het jaarverbruik op de energienota in kWh zijn gegeven en niet in J?

Practicum

Proef 1 Geleiders en isolatoren 15 min

Inleiding
Je kunt stoffen verdelen in geleiders en isolatoren. Door geleiders kan wel een elektrische stroom lopen, door isolatoren niet (of nauwelijks).

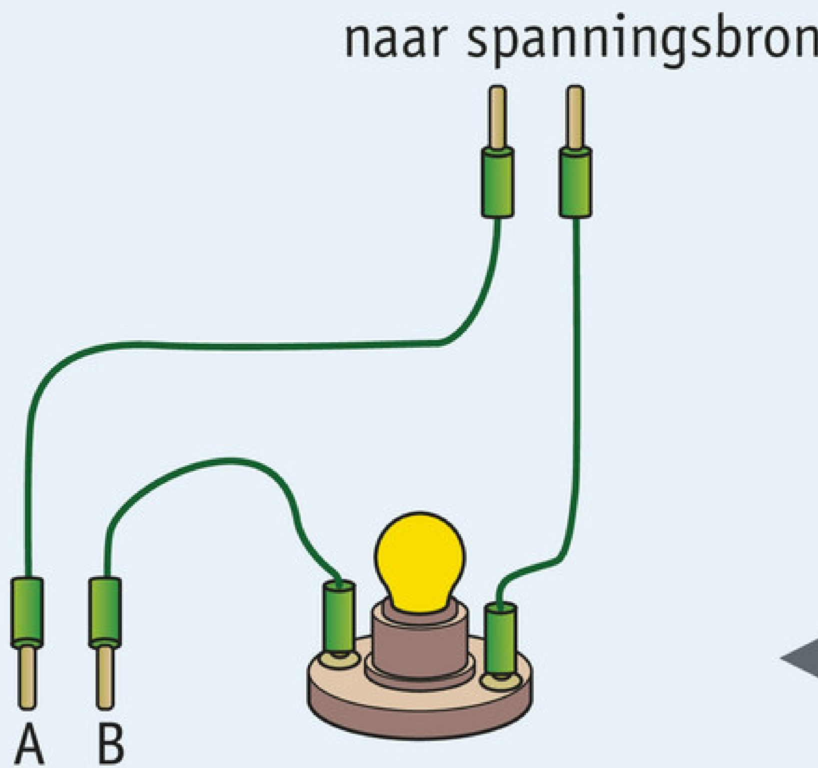
Doel
Bij deze proef ga je van een aantal stoffen onderzoeken of ze een geleider of een isolator zijn.

Nodig
- spanningsbron
- lampje in fitting
- drie snoeren
- koperen staafje
- zeven andere voorwerpen

Uitvoeren en uitwerken
– Maak de schakeling van figuur 40.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
– Zet de uiteinden A en B van de snoeren op het koperen staafje. Je ziet dat het lampje dan gaat branden. Blijkbaar laat koper een elektrische stroom door. Daarom noem je koper een geleider.
– Je docent vertelt je welke voorwerpen je nog meer voor deze opdracht nodig hebt.

1 Neem tabel 2 over in je schrift.
Noteer in de tabel:
a hoe de verschillende voorwerpen heten;
b van welke stoffen ze zijn gemaakt.
– Onderzoek welke stoffen geleiders zijn en welke isolatoren.

2 Noteer de uitkomsten in de tabel.



◀ **figuur 40** de schakeling van proef 1

▼ **tabel 2** geleiders en isolatoren

voorwerp	gemaakt van	geleider of isolator
staafje	koper	geleider
enzovoort		

Aanwijzingen voor de proeven 2, 5 en 7
- Om de stroomsterkte door een lampje te meten, schakel je de stroommeter in serie met het lampje. Zie vaardigheid 8 achter in het boek.
- Laat de schakeling door je docent controleren voordat je de spanningsbron aanzet of aansluit.

Proef 2 De stroomsterkte meten 10 min

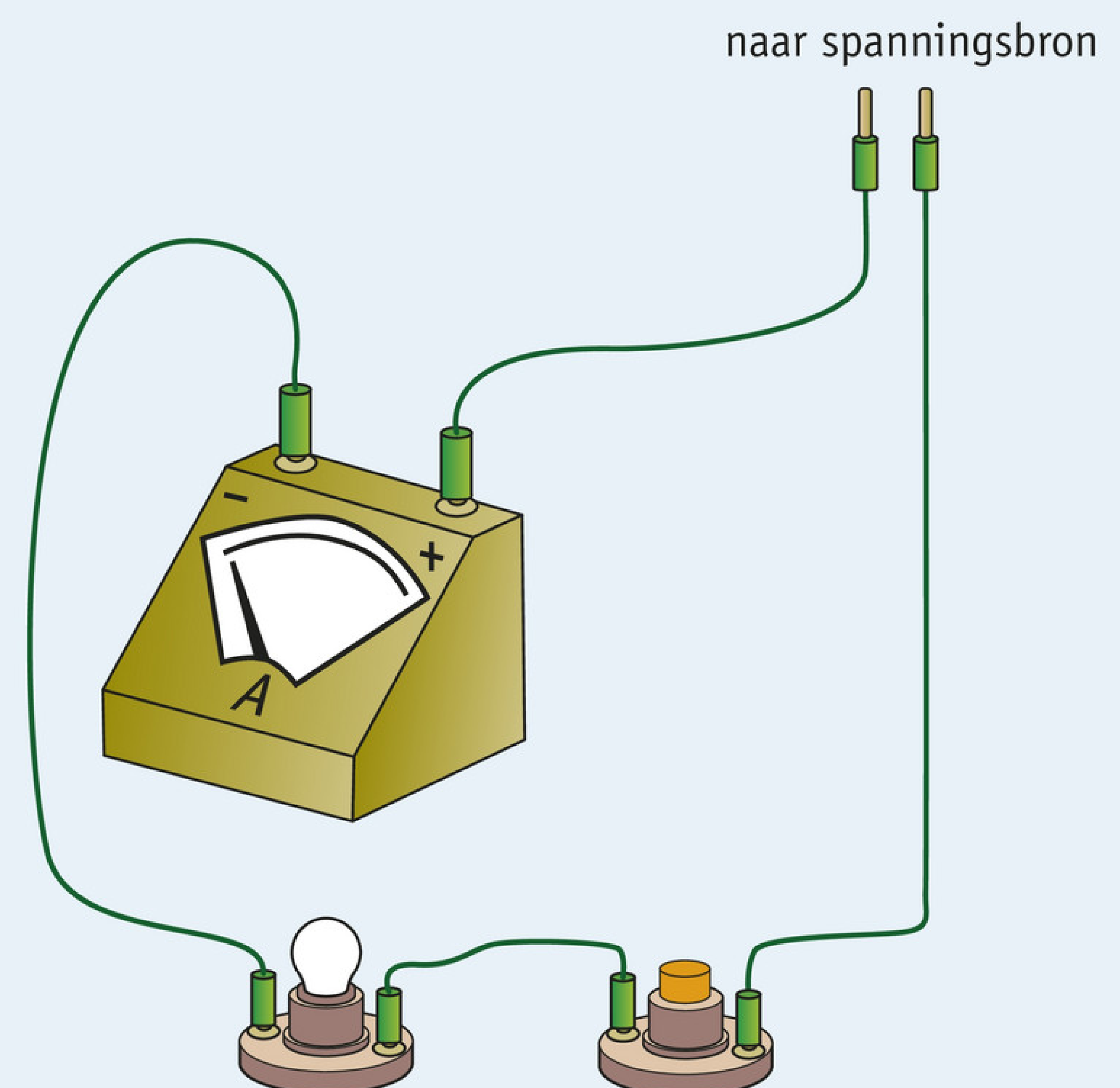
Inleiding
Met een stroommeter of multimeter kun je de stroomsterkte in een stroomkring meten. Je schakelt de meter daarbij in serie met de andere onderdelen van de stroomkring.

Doel
Je gaat oefenen met het meten van de stroomsterkte.

Nodig
- spanningsbron
- lampje in fitting
- vier snoeren
- stroommeter
- schakelaar

Uitvoeren en uitwerken
– Maak de schakeling van figuur 41. Gebruik het grootste meetbereik. Zie vaardigheid 8 achter in het boek.
– Laat de schakeling door je leraar docent controleren!
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
– Meet met de meter de stroomsterkte door het lampje. Doe dat zowel links als rechts van het lampje.
– Schakel indien mogelijk over op een kleiner meetbereik, voordat je de stroomsterkte definitief afleest.

1 Hoe groot is de stroomsterkte door het lampje? Vergeet de eenheid niet!
2 Maakt het uit of je de stroomsterkte links of rechts van het lampje meet?



▲ **figuur 41**
de schakeling van proef 2

Proef 3 Lampjes schakelen 30 min

Inleiding
Je kunt lampjes op verschillende manieren schakelen. Dat wil zeggen: de lampjes (geleidend) zodanig met elkaar en met een spanningsbron verbinden dat je ze aan- en uit- kunt zetten. Elk soort schakeling heeft zijn eigen voor- en nadelen.

Doel
Bij deze proef maak je kennis met drie soorten schakelingen: de serieschakeling, de parallelschakeling en de gemengde schakeling.

Nodig
- spanningsbron
- drie lampjes in fittingen
- zes snoeren

Uitvoeren en uitwerken
Een serieschakeling maken
Eerst ga je een serieschakeling maken met de drie lampjes. Dat is een schakeling zonder vertakkingen: de stroom loopt van de spanningsbron eerst naar lampje 1, dan naar lampje 2, dan naar lampje 3 en ten slotte terug naar de spanningsbron.

1 Teken het schakelschema van deze schakeling. Zet erbij: een serieschakeling van drie lampjes.

– Bouw de schakeling volgens het schakelschema. Zie vaardigheid 10 achter in je boek.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.

2 Beschrijf hoe de lampjes branden: fel, gewoon of zwak.

– Schroef de lampjes een voor een los (en daarna weer vast).

3 Wat gebeurt er met de andere lampjes?

– Noteer wat er elke keer met de andere lampjes gebeurt.

Een parallelschakeling maken
Je gaat nu een parallelschakeling maken met de drie lampjes. Dat is een schakeling met drie vertakkingen: een voor elk lampje. De stroom splitst zich vóór de lampjes in drieën – zodat elk lampje een derde van de stroom krijgt – en komt na de lampjes weer bij elkaar.

4 Teken het schakelschema van deze schakeling. Zet erbij: een parallelschakeling van drie lampjes.

– Bouw de schakeling volgens het schakelschema. Het is het handigst om eerst lampje 1 aan te sluiten op de spanningsbron. Maak daarna de aftakking voor lampje 2 en ten slotte de aftakking voor lampje 3.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.

5 Beschrijf hoe de lampjes branden: fel, gewoon of zwak.

– Schroef de lampjes een voor een los (en daarna weer vast).

6 Noteer wat er elke keer met de andere lampjes gebeurt.

– Haal de schakeling weer uit elkaar.

Een gemengde schakeling maken
Je gaat nu een gemengde schakeling maken met de drie lampjes: een combinatie van een serieschakeling met een parallelschakeling. In plaats van drie vertakkingen, zoals bij de vorige schakeling, heb je er nu maar twee. Er zijn twee mogelijkheden om zo'n gemengde schakeling te maken, maar je hoeft er maar één uit te proberen.

7 Teken het schakelschema van jouw gemengde schakeling en nummer de lampjes.
Zet erbij: een gemengde schakeling van drie lampjes.

– Bouw de schakeling volgens het schakelschema.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.

8 Beschrijf hoe de lampjes branden: fel, gewoon of zwak.

– Schroef de lampjes een voor een los (en daarna weer vast).

9 Noteer wat er elke keer met de andere lampjes gebeurt (gebruik de nummers uit je schakelschema).

– Heb je tijd over? Probeer dan ook de andere gemengde schakeling te tekenen en te bouwen.

Proef 4 Experimenteren met een schakelaar 20 min

Inleiding

Met een schakelaar kun je de stroom in- en uitschakelen. Je kunt er één onderdeel mee aan- en uitzetten, maar ook de complete schakeling in één keer. Dat is afhankelijk van waar je de schakelaar in de schakeling plaatst.

Doel

Bij deze proef ga je onderzoeken welk effect een schakelaar heeft op verschillende plaatsen in een schakeling. De onderzoeksvraag luidt:
Hoe kun je met een schakelaar (a) één schakelonderdeel aan- en uitzetten; (b) verschillende schakelonderdelen tegelijk aan- en uitzetten?

Nodig

- spanningsbron
- drie lampjes in fittingen
- acht snoeren
- schakelaar

Uitvoering en verwerking

- Maak een parallelschakeling met de drie lampjes.
- Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
- Controleer of de drie lampjes gewoon branden.

1 Maak een tekening van de schakeling die je hebt gebouwd. Nummer de snoeren die je gebruikt hebt 1 t/m 6.

- Maak de twee overgebleven snoeren vast aan de schakelaar.
- Vervang snoer 1 door de schakelaar met de twee snoeren (figuur 42).
- Kijk wat er gebeurt als je de stroom met de schakelaar in- en uitschakelt.

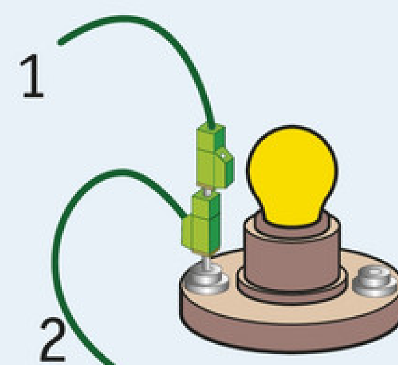
2 Teken het schakelschema van de schakeling die je gemaakt hebt.
Geef aan welke lampjes uitgaan als je de schakelaar op UIT zet.

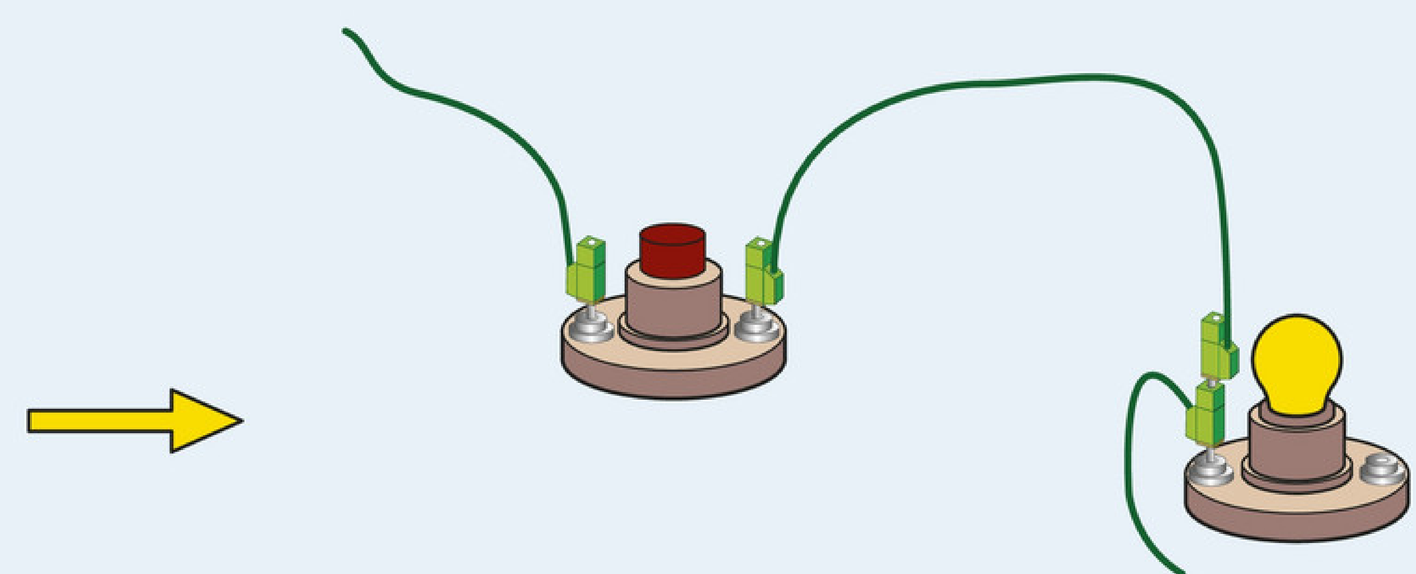
- Haal de schakelaar met de twee snoeren weg en sluit snoer 1 weer aan.
- Gebruik de schakelaar met de twee snoeren nu om snoer 2 te vervangen.
- Kijk wat er gebeurt als je de stroom met de schakelaar in- en uitschakelt.

3 Teken het schakelschema. Zet erbij welke lampjes uitgaan als je de schakelaar op UIT zet.

- Doe vervolgens hetzelfde met de snoeren 3 t/m 6.

4 Noteer je waarnemingen in je schrift.
5 Beantwoord ten slotte de onderzoeksvraag.





▲ **figuur 42**
Zo kun je op de plaats van snoer 1 een schakelaar aanbrengen.

Proef 5 De stroomsterkte in een serieschakeling 20 min

Inleiding
Met een stroommeter of multimeter kun je de stroomsterkte in een serieschakeling meten. Je kunt de stroom daarbij op verschillende plaatsen meten: tussen de spanningsbron en het eerste schakelonderdeel, tussen de schakelonderdelen in, en na het laatste schakelonderdeel.

Doel
Je gaat onderzoeken welke regel er geldt voor de stroomsterkte in een serieschakeling.

Nodig
- spanningsbron
- twee lampjes in fittingen
- vijf snoeren
- stroommeter
- schakelaar

Uitvoeren en uitwerken
– Je gaat een serieschakeling maken van twee lampjes en een meter.

1 Teken het schakelschema van deze schakeling. De meter moet tussen beide lampjes in staan.

– Laat je docent het schakelschema controleren. Bouw daarna de schakeling.
– Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
– Lees de stroomsterkte af. Gebruik eerst het grootste meetbereik van de stroommeter. Schakel daarna indien mogelijk over op een kleiner meetbereik.
– Meet de stroomsterkte nog twee keer: vóór lampje 1 en na lampje 2.

2 Noteer de meetresultaten in je schrift. Vergeet de eenheid niet.
3 Welke regel geldt er voor de stroomsterkte in een serieschakeling?

Proef 6 De spanning in een serieschakeling 20 min

Inleiding
Met een spanningsmeter of multimeter kun je de spanningen in een serieschakeling meten: over elk schakelonderdeel afzonderlijk, maar ook over alle schakelonderdelen samen.

Doel
Je gaat onderzoeken welke regel er geldt voor de spanningen in een serieschakeling.

Nodig
- spanningsbron
- twee lampjes in fittingen
- vijf snoeren
- spanningsmeter

Uitvoeren en uitwerken

De spanning over lampje 1

- Maak de schakeling van figuur 43a.
- Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
- Lees de spanning af. Gebruik eerst het grootste meetbereik van de meter. Schakel daarna indien mogelijk over op een kleiner meetbereik.

1 Neem over en vul in:
De spanning over lampje 1 = … V.

De spanning over lampje 2

- Maak de schakeling van figuur 43b.
- Lees de spanning af.

2 Neem over en vul in:
De spanning over lampje 2 = … V.

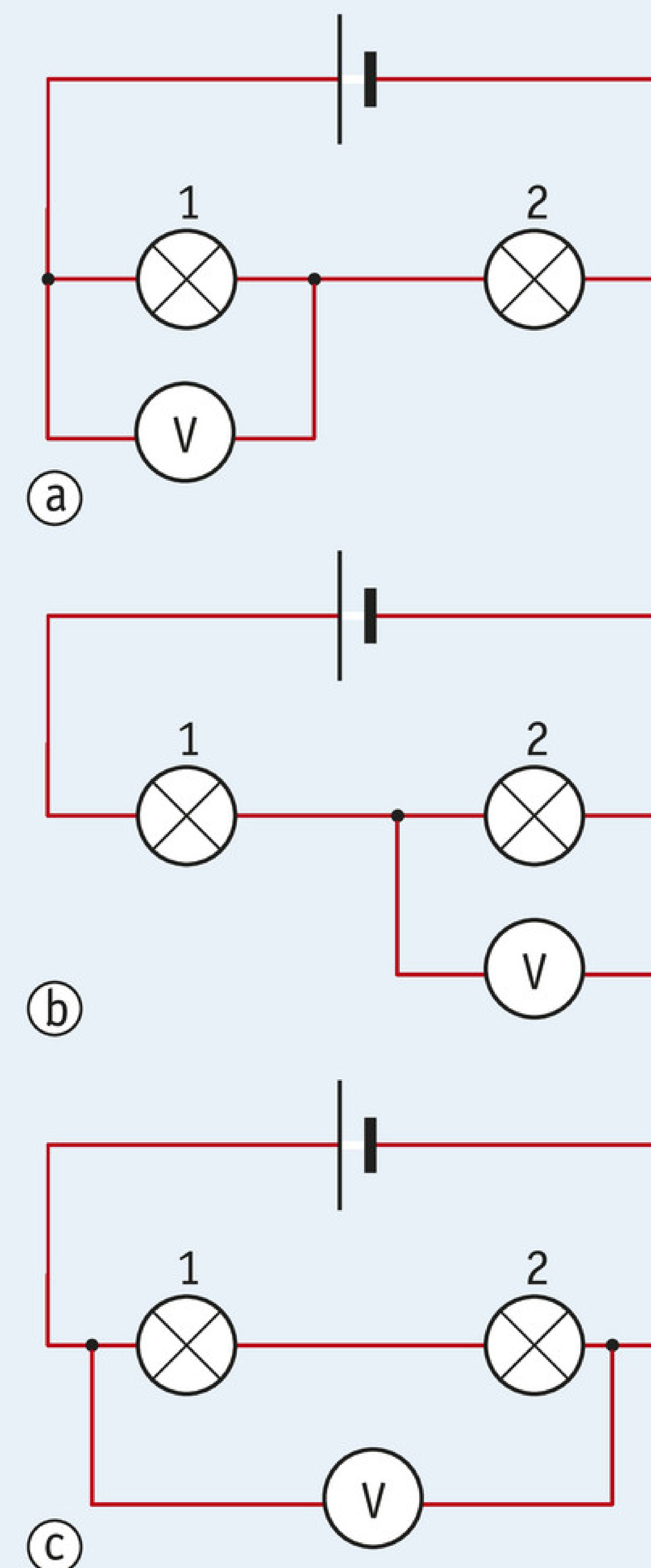
De spanning over beide lampjes samen

- Maak de schakeling van figuur 43c.
- Lees de spanning af.

3 Neem over en vul in:
De spanning over lampje 1 en 2 samen = … V.

4 Vergelijk de spanning van de spanningsbron met de spanningen die jij gemeten hebt.
Wat valt je op?

5 Welke regel geldt er voor de spanningen in een serieschakeling?



▲ **figuur 43**
de drie schakelingen van proef 6

Proef 7 De stroomsterkte in een parallelschakeling 20 min

Inleiding

Met een stroommeter of multimeter kun je de stroomsterkte in een parallelschakeling meten. Je kunt de stroom daarbij op verschillende plaatsen meten: in de vertakkingen en in de niet-vertakte delen van de schakeling.

Doel

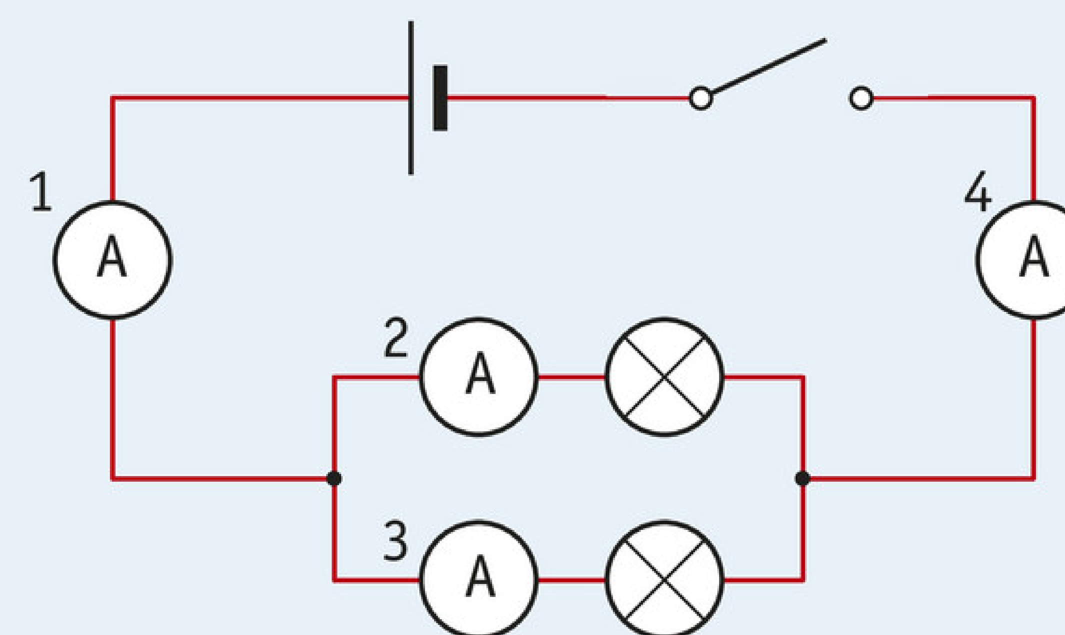
Je gaat onderzoeken welke regel er geldt voor de stroomsterktes in een parallelschakeling.

Nodig

- spanningsbron
- twee lampjes in fittingen
- zes snoeren
- stroommeter
- schakelaar

Uitvoeren en uitwerken

- In figuur 44 staat een parallelschakeling waarin op vier plaatsen een meter getekend is. Bij deze proef ga je de stroomsterktes op deze vier plaatsen meten.



▲ **figuur 44**
de schakeling van proef 7

1 Wat denk je: welk verband bestaat er tussen de stroomsterktes die je op deze vier plaatsen kunt meten?

- Bouw de schakeling van figuur 44. Sluit de meter aan op plaats 1.
- Stel de spanningsbron in op de juiste spanning.
- Lees de stroomsterkte af. Gebruik eerst het grootste meetbereik van de meter. Schakel daarna indien mogelijk over op een kleiner meetbereik.

2 Hoe groot is de stroomsterkte op plaats 1?

- Verander de schakeling door de meter op plaats 2 aan te sluiten.
- Meet de stroomsterkte op plaats 2 zo nauwkeurig mogelijk.

3 Hoe groot is de stroomsterkte op plaats 2?

- Meet vervolgens ook de stroomsterkte op plaats 3 en plaats 4.

4 Hoe groot is de stroomsterkte op plaats 3 en 4?
5 Kijk nog eens naar de voorspellingen die je bij vraag 1 hebt gedaan. Klopte je voorspelling?

6 Welke regel geldt er voor de stroomsterktes in een parallelschakeling?

Proef 8 Een ontwerp maken – de mistlampschakeling 45 min

Inleiding
In een auto moet een mistlamp gemonteerd worden. Automobilisten moeten deze felle lamp aanzetten als het erg mistig is op de weg. Het is de bedoeling dat de mistlamp alleen aangezet kan worden als de gewone verlichting van de auto al brandt. Jij bent bij deze opdracht de ontwerper die een bruikbare oplossing moet bedenken.

Doel
Bij deze proef ga je een schakeling bedenken en testen voor de autoverlichting, inclusief de mistlamp. Je prototype moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- De schakeling bestaat uit vijf lampjes en twee schakelaars.
- De lampjes 1 en 2 stellen de koplampen voor.
- De lampjes 3 en 4 stellen de achterlichten voor.
- Lampje 5 stelt het mistachterlicht voor.
- De koplampen en de achterlichten kunnen met schakelaar 1 aan- en uitgezet worden.
- Het mistachterlicht kan met schakelaar 2 aangezet worden, maar alleen als de koplampen en de achterlichten branden.

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de opdracht kunt uitvoeren. Wat voor schakeling ga je maken, welke practicumspullen heb je daarvoor nodig, hoe ga je testen of de schakeling goed werkt?

1 Maak een werkplan voor deze opdracht.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
- Bouw de schakeling en probeer hem uit.

2 Maak een testverslag met daarin:
  a een schema van de schakeling die aan alle ontwerpeisen voldoet;
  b de tests die je hebt uitgevoerd en de resultaten daarvan;
  c eventuele veranderingen die je in je schakeling hebt aangebracht.

Test Jezelf

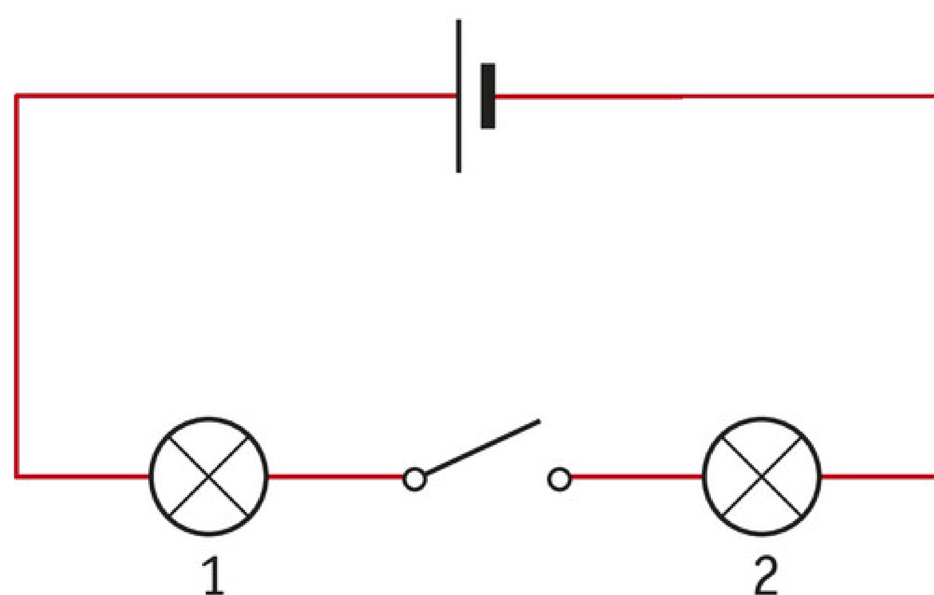
Je kunt de vragen 1 t/m 16 ook maken met de computer.

1 Geef van de volgende stoffen aan of het geleiders of isolatoren zijn: aluminium, glas, koolstof, koper, pvc, rubber en staal.

2 Neem over en vul in:
a 0,125 A = … mA
b 14 mΩ = … Ω
c 0,78 V = … kV
d 300 mA = … A
e 0,82 V = … mV

3 Naomi heeft een multimeter. De stroomsterkte die ze wil meten is ongeveer 0,1 A.
Welke stand van de draaiknop kan ze het best gebruiken?
A 200 Ω
B 20 mA
C 200 mA
D 200 mV
E 2 V

4 In figuur 45 zie je een schakeling met een batterij, twee lampjes en een schakelaar. De schakelaar staat open.
a Brandt lampje 1?
b Brandt lampje 2?



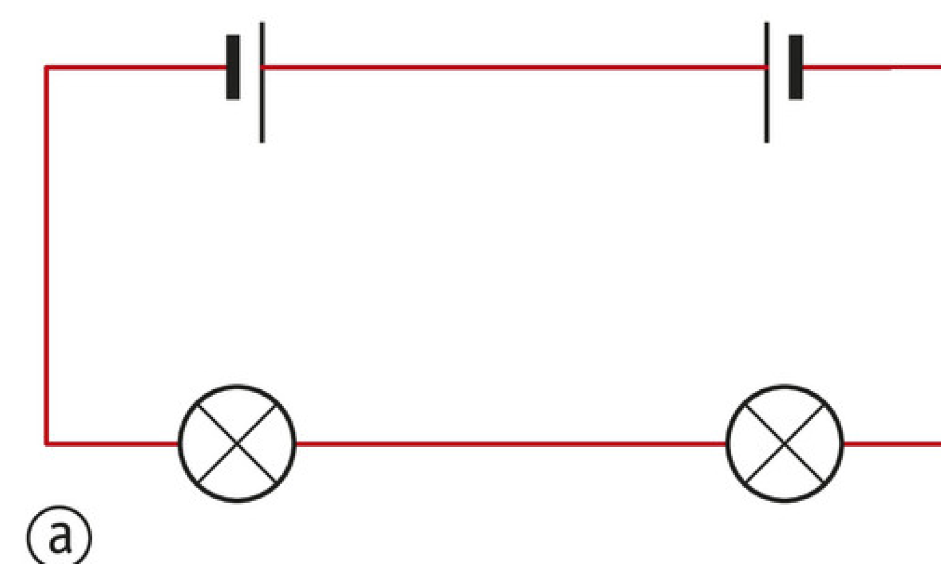
▲ **figuur 45**
en schakeling met twee lampjes

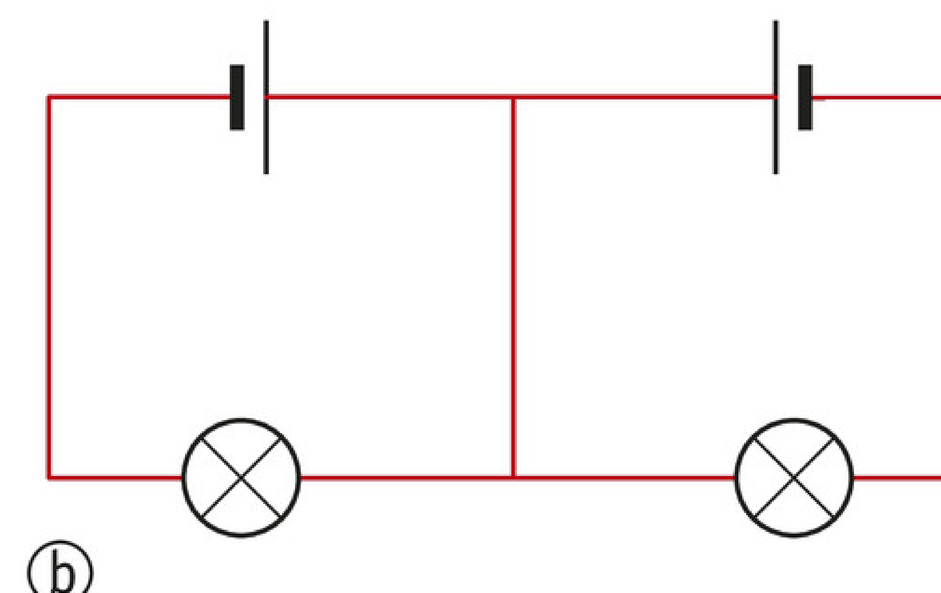
5 In figuur 46 zie je een spanningsmeter.
Lees de waarde van de spanning zo nauwkeurig mogelijk af en noteer deze.



▲ **figuur 46**
een spanningsmeter

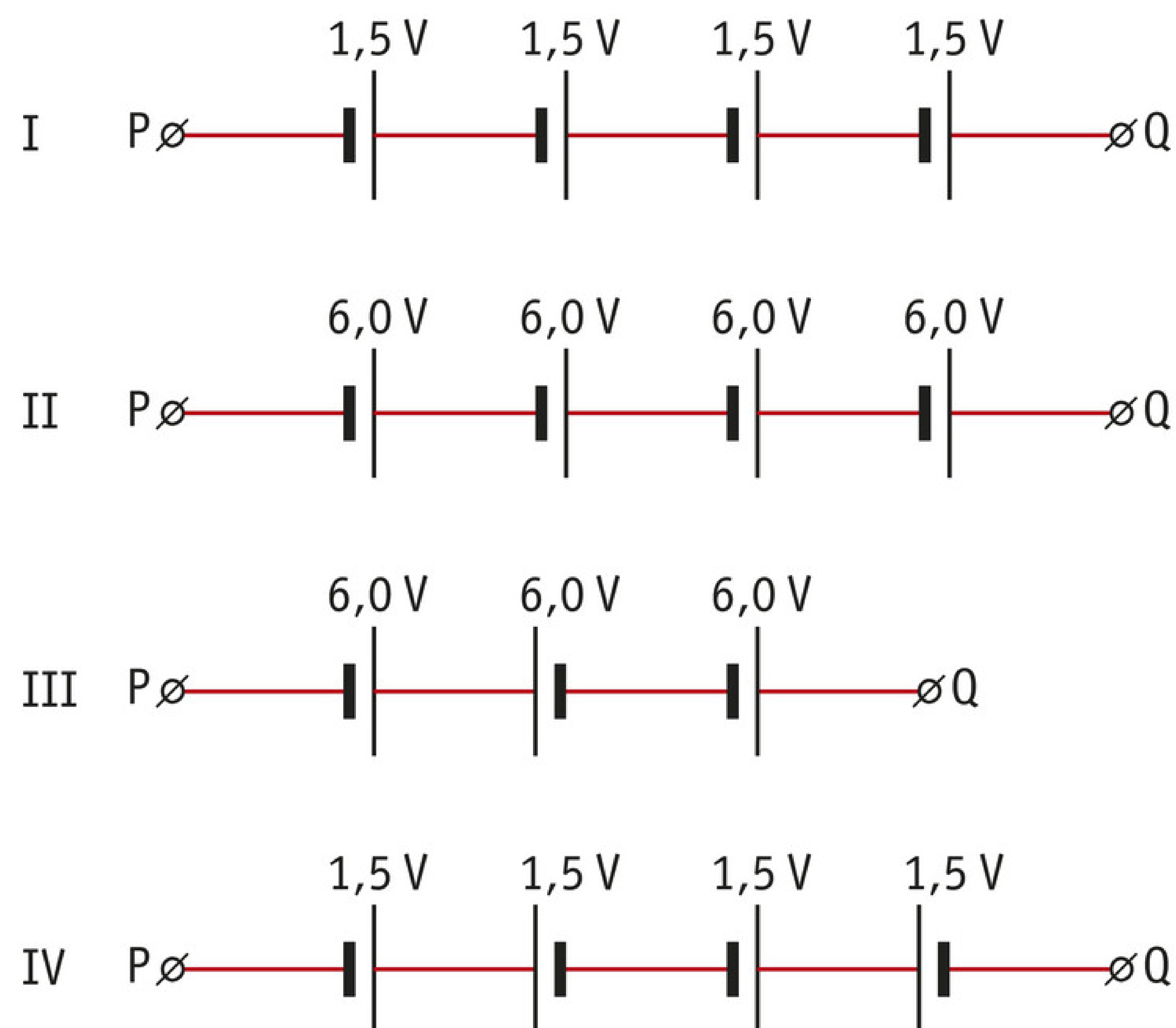
6 Een lampje brandt normaal op een spanning van 3,0 V en zwak op een spanning van 1,5 V. Max heeft met twee van die lampjes en twee batterijen van 1,5 V een schakeling gemaakt. Zie figuur 47a.
a Hoe brandt lampje 1 in figuur 47a: normaal, zwak of helemaal niet?
b Hoe brandt lampje 2 in figuur 47a: normaal, zwak of helemaal niet?
c Max sluit nog een snoer aan zodat hij de schakeling van figuur 47b krijgt. Hoe brandt lampje 1 nu: normaal, zwak of helemaal niet?
d Hoe brandt lampje 2 nu: normaal, zwak of helemaal niet?





▲ **figuur 47a** en b
de schakelingen van Max

7 In figuur 48 zijn vier manieren getekend om batterijen te schakelen.
In welke schakeling(en) krijg je tussen P en Q een spanning van 6,0 V?



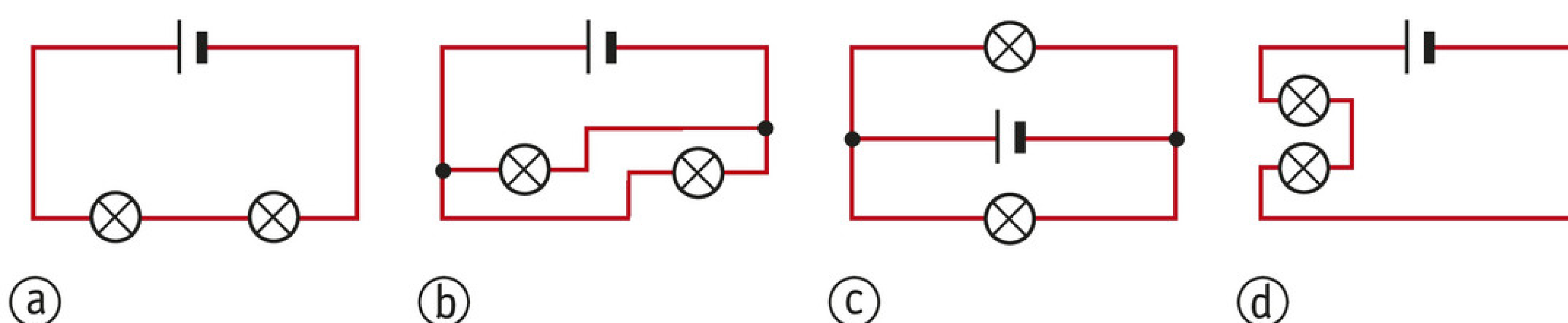
▲ **figuur 48**
batterijen schakelen

8 Om een mobiele telefoon op te laden, gebruik je een adapter die je in het stopcontact steekt.

a Wat doet een adapter?
A Een adapter zet een hoge spanning om in een lage.
B Een adapter zet een lage spanning om in een hoge.
C Een adapter zet een hoge stroomsterkte om in een lage.
D Een adapter zet een lage stroomsterkte om in een hoge.

b Hoe heet het onderdeel in een adapter dat voor de omzetting zorgt?

9 In figuur 49 zie je vier schakelingen.
Welke van deze vier schakelingen zijn parallelschakelingen?

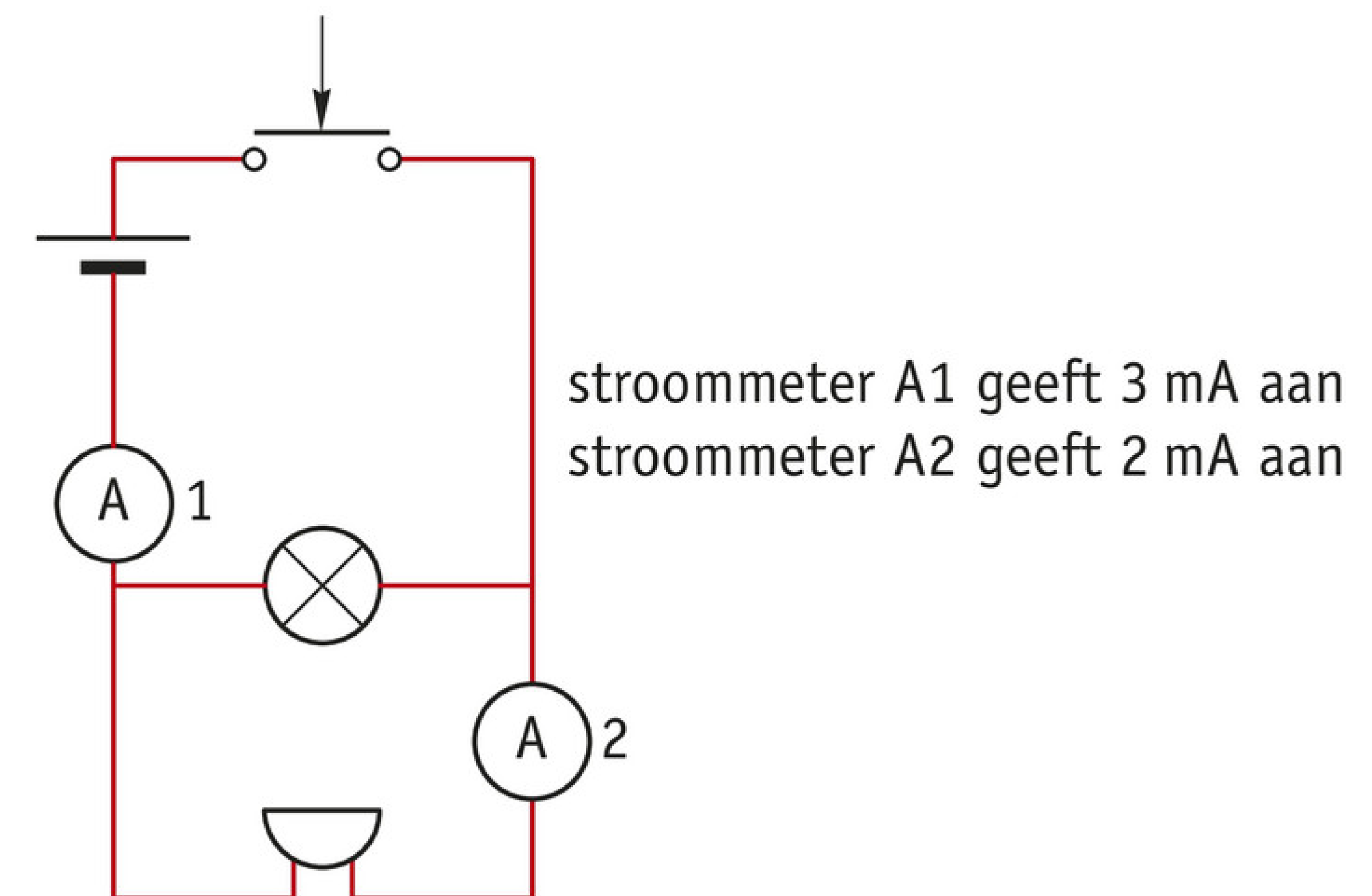


▲ **figuur 49**
vier schakelingen

10 In de schakeling van figuur 50 zijn een zoemer en een lampje aangesloten op een batterij. Als de schakelaar wordt ingedrukt, gaat de zoemer geluid maken en gaat er een lampje branden. In de leidingen zijn twee stroommeters opgenomen.

a Hoe groot is de stroomsterkte die door de zoemer gaat?

b Hoe groot is de stroomsterkte die door het lampje gaat?



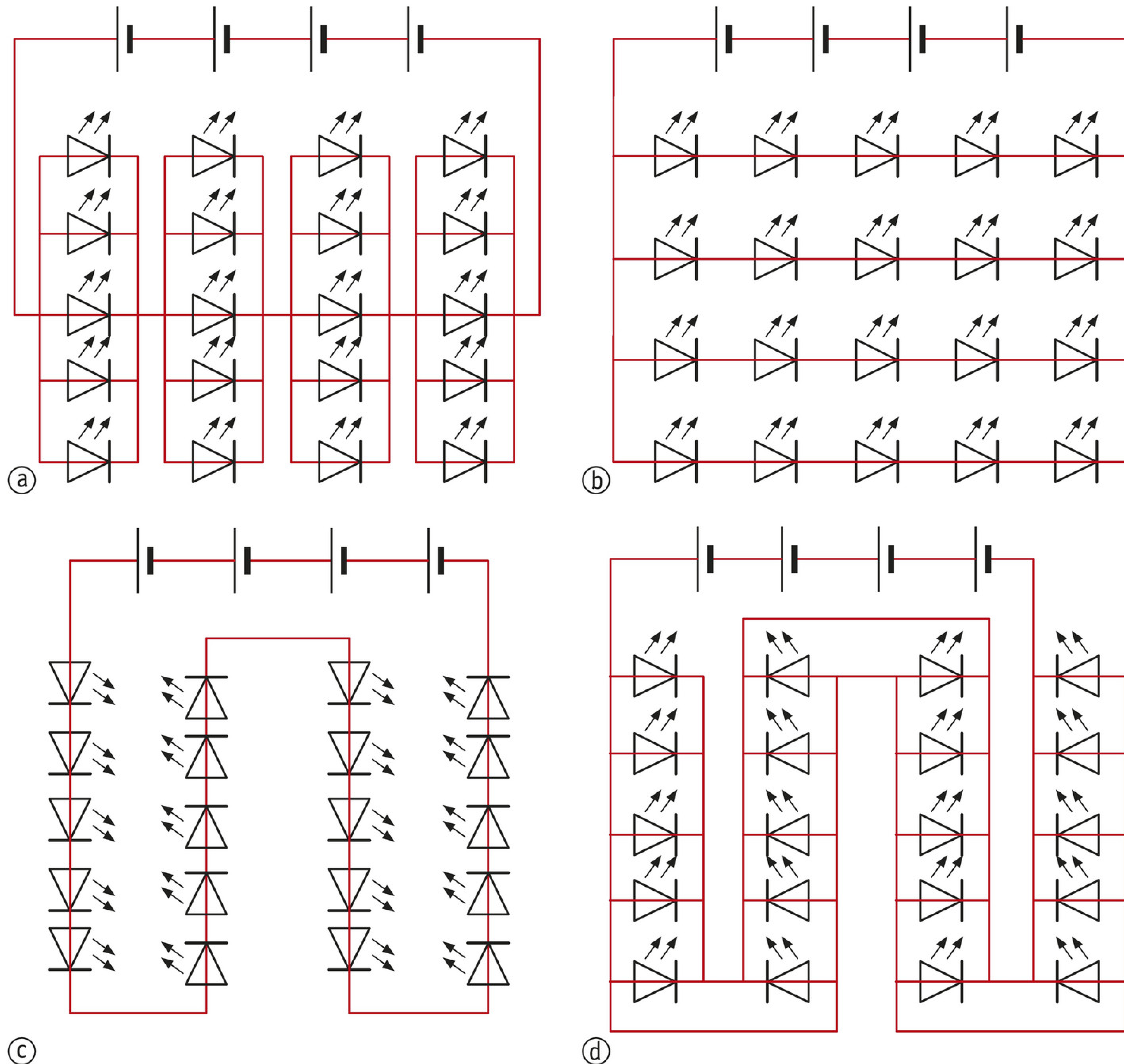
▲ **figuur 50**
lampje en zoemer

11 Voor het uitleggen van de begrippen stroomsterkte en spanning kun je de analogie gebruiken van de tankauto's die benzine vervoeren. In de analogie kan een aantal eigenschappen veranderen:
A het aantal tankauto's dat per uur voorbij komt;
B het energieverbruik van de tankauto's;
C de hoeveelheid benzine in elke tankauto.

a Welke van deze drie kun je vergelijken met de stroomsterkte: A, B, C of geen van deze drie?

b Welke van deze drie kun je vergelijken met de spanning: A, B, C of geen van deze drie?

c Welke van deze drie kun je vergelijken met het vermogen: A, B, C of geen van deze drie?



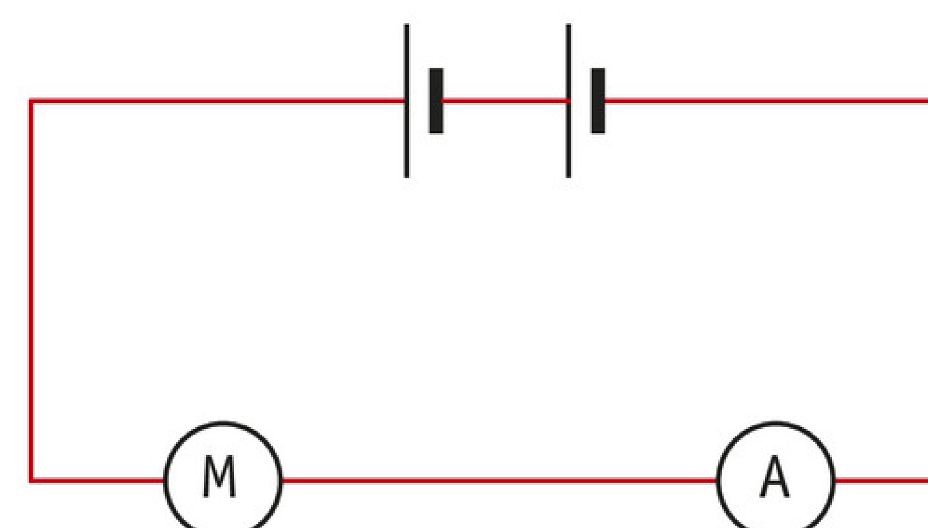
▲ **figuur 51**
vier schakelingen voor een kerstverlichting

12 Bij Niels thuis hebben ze een kerstverlichting voor buiten, met twintig led-lampjes. Als er één lampje kapot gaat, gaat er een rij van vijf led-lampjes uit. De kerstverlichting werkt op vier batterijen. Welk schema uit figuur 51 zou van deze kerstverlichting kunnen zijn?

13 Op een spaarlamp staat: 230 V/23 W/50 Hz.
- **a** Hoe groot is het vermogen van de lamp als hij op de juiste spanning brandt?
- **b** Hoe groot is de spanning waarop de lamp moet worden aangesloten?

14 Eva maakt een schakeling met een elektromotortje (figuur 52). Ze gebruikt twee batterijen van elk 1,5 V. De stroommeter geeft 20 mA aan.
Bereken het vermogen van de motor.

15 Op de verpakking van een autolampje staat: 12 V/6 W.
- **a** Hoe heet de spanningsbron voor de lampen in een auto?
- **b** Bereken de stroomsterkte als de lamp brandt op 12 V.

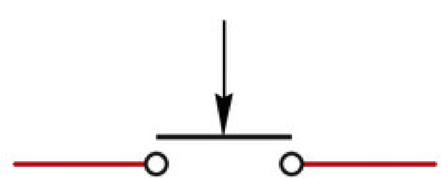


▲ **figuur 52**
de schakeling van Eva

16 Noteer of de volgende beweringen waar of onwaar zijn.
- **A** Alle metalen geleiden elektrische stroom, maar het ene metaal geleidt beter dan het andere.
- **B** Volgens afspraak zeggen we: stroom loopt van plus naar min.
- **C** De stroomsterkte in een parallelschakeling is overal even groot.
- **D** Hoe kleiner het vermogen van een mobieltje is, des te sneller is de accu leeg.
- **E** De netspanning in Nederland is 230 W.

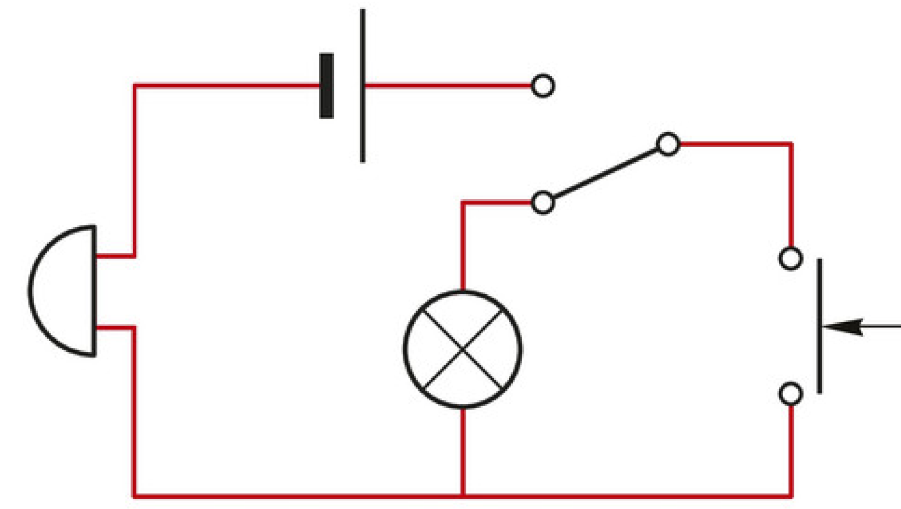
17 Met een batterij en vier identieke lampjes kun je een gemengde schakeling bouwen: een combinatie van lampjes die in serie en lampjes die parallel staan. Neem aan dat de lampjes een vaste weerstand hebben.
- **a** Bedenk zelf een gemengde schakeling en teken deze.
- **b** Geef in je tekening aan hoe groot de stroomsterkte door elk lampje is als de totale stroomsterkte 0,80 A is.

18 Theo heeft niet graag dat iemand onverwacht zijn kamer binnenkomt. Daarom heeft hij een aparte bel voor zijn kamer gemaakt. Vanaf de belknop lopen draden naar een batterij en een bel.
- **a** Teken het schema van deze schakeling. Gebruik het schakelsymbool van figuur 53.



◀ **figuur 53**
het schakelsymbool van een drukschakelaar

- **b** Theo heeft een klein zusje dat 's middags slaapt. Dan mag de bel niet gaan. Hij wil de schakeling zo veranderen dat er in plaats van de bel een lampje kan worden ingeschakeld. Hij wil daarvoor een zogenaamde wisselschakelaar gebruiken.
  Theo tekent eerst de schakeling van figuur 54. Leg uit waarom deze schakeling niet aan zijn wensen zal voldoen.
- **c** Teken een schakeling die wel voldoet aan Theo's wensen.



▲ **figuur 54**
de foute schakeling van Theo

19 Voor deze opgave heb je werkblad 5-2 nodig.
Op het werkblad zie je twee schermers tijdens een wedstrijd. Aan de lampjes kun je zien of ze elkaar hebben geraakt. De schermers zijn met elektriciteitsdraden aan de apparatuur verbonden.
Ontwerp zelf een waarnemingssysteem. Lampje A moet even aangaan als schermer A wordt getroffen, en lampje B bij schermer B. Je hebt twee spanningsbronnen tot je beschikking.
Bedenk van tevoren:
- van welk materiaal de degens en jacks van de schermers moeten zijn gemaakt;
- hoeveel draden de verbindingskabel moet bevatten en hoe ze moeten worden aangesloten.

Teken je schakelschema in de tekening op het werkblad.

20 Op een site wordt reclame gemaakt voor een accu: "Vaak en lang op pad met je toestel? Zit nooit meer in spanning over de accu. Met deze kwaliteitsaccu van Lenmar heb je altijd een brok energie achter de hand om je HTC te voeden. Deze Lenmar Battery biedt 3000 mAh power voor je smartphone."
- **a** De vertaling van 'power' is vermogen. Leg uit dat dit woord hier verkeerd is gebruikt.
- **b** Als je filmpjes bekijkt op deze smartphone dan loopt er een stroom van 1,5 A. Hoelang kun je met deze accu maximaal filmpjes kijken?
- **c** Noem een eigenschap van smartphones die is ingebouwd om het energieverbruik omlaag te brengen zodat je langer met een opgeladen accu kunt doen.

21 Je hebt twee batterijen van 4,5 V en drie identieke lampjes.
Teken de schakeling waarbij:
- **a** alle drie de lampjes zo fel mogelijk branden;
- **b** alle drie de lampjes zo zwak mogelijk branden.

Racen op zonne-energie



Eens in de twee jaar rijden er, tussen het normale verkeer, bijzondere auto's over een eindeloze en bloedhete weg in Australië. De auto's zijn laag, goed gestroomlijnd en bedekt met zonnecellen. Het zijn deelnemers aan de World Solar Challenge. Sommige teams doen al jaren mee aan deze wedstrijd over 3000 kilometer. Bijvoorbeeld het studententeam uit Twente.



Elektronica

De voertuigen die aan de *World Solar Challenge* meedoen, rijden met een elektromotor die helemaal op zonne-energie werkt. Bij zonnig weer produceren de zonnecellen meestal meer elektrische energie dan de motor op dat moment nodig heeft. Wat over is, wordt opgeslagen in accu's. Dit wordt gebruikt als er later een tekort aan energie is, bijvoorbeeld omdat het bewolkt is. Zonne-auto's zitten vol elektrische onderdelen en elektronica. Het Twentse team heeft een apart team dat alleen werkt aan de 'elektrische kant' van hun auto. Ze vertellen daarover in hun blog:

Er zit meer elektronica in de auto dan je op het eerste oog denkt. Natuurlijk zijn er de zonnecellen, een accu en een elektromotor. Maar ook: Maximum Power Point Trackers, die er voor zorgen dat het zonnepaneel optimaal benut wordt. Een motorcontroller, die met hoge efficiëntie de elektromotor aanstuurt. Een draadloze verbinding met de volgauto, waar de zonne-auto wordt uitgelezen en aangestuurd. Meetcircuits voor het monitoren van de accu, de temperatuur en nog veel meer data. Kabels om stroom vanuit de zonne-panelen naar de accu en de motor te brengen en om alle signalen over te brengen. Knipper- en remlichten. Knoppen en schakelaars voor interactie met de coureur en een noodstop op de zijkant.

"Australië is wel een zonnig land, maar de zon schijnt niet altijd."

Opladen en ontladen

Bij de start moet je snel optrekken en daarvoor heb je in korte tijd een groot vermogen en dus veel energie nodig. Zonnecellen hebben maar een beperkt vermogen en daarom moeten de accu's flink bijspringen voor een snelle start.
De accu's worden daarom met de zonnecellen voor de start maximaal opgeladen. Ook tijdens stops proberen de deelnemers hun accu's

maximaal op te laden. Om zo veel mogelijk zonlicht op te vangen, zetten ze hun voertuig schuin neer. Hoe meer elektrische energie ze in hun accu's kunnen opslaan, des te groter zijn hun kansen in de race.

Het voortdurend opladen en ontladen van de accu's is niet zonder risico's. Bij een van de deelnemende teams ontstond een paar jaar geleden brand in de accu's (zie kader). Veel zonne-auto's zijn daarom voorzien van een speciaal *Battery Management System*, dat continu de lading van de accu's in de gaten houdt. Het systeem zorgt ervoor dat de accu's niet overladen worden of juist te ver ontladen, want in beide gevallen kunnen ze in brand vliegen. Het *Battery Management System* van Twente is zeer geavanceerd.

Pech voor Umicore

Het *Umicore Solar Team* uit België had afgelopen vrijdag flinke tegenslag in de *World Solar Challenge*. Het team lag op een verdienstelijke vierde plaats, toen er op circa 200 km van de finish brand ontstond in de accu's. De coureur en enkele teamleden die rook inademden werden naar het ziekenhuis gebracht voor controle, maar mochten dit snel weer verlaten. Na een spoedreparatie kon er zaterdag verder worden gereden met de reserve-accu's.

Elke watt telt

De hoeveelheid energie die de accu's en de zonnepanelen kunnen leveren is beperkt. Om de wedstrijd te winnen moet het voertuig dus zo weinig mogelijk energie verbruiken tijdens het rijden. Een van de Twentse studenten schrijft in zijn blog:
Alle elektronische onderdelen moeten bijzonder efficiënt zijn. Elke watt, maar ook elke gram telt mee. De auto moet daarom bijzonder zuinig zijn. Er zijn wel grote vorderingen in zonneceltechnologie, maar toch levert een paneel van 6 vierkante meter siliciumcellen (de maximaal toegestane oppervlakte) in de volle Australische zon maar net genoeg vermogen om een kleine waterkoker te laten werken. Wij moeten ervoor zorgen dat de auto met dat vermogen ruim 90 km/h kan rijden.





Strategisch rijden

Om te winnen heb je meer nodig dan een slim ontworpen zonne-auto. Daarvoor moet je ook slim rijden. Als het weer niet erg zonnig is, kun je niet de hele tijd op topsnelheid rijden. Dan zijn de accu's al ver voor de finish leeg. Te langzaam rijden is natuurlijk ook geen goed idee. Je wilt de energie die in de accu's zit, zo volledig mogelijk benutten.

De succesvolle teams volgen daarom een uitgekiende strategie. Vanuit de volgauto krijgen de teamleden gegevens door van de elektronica in de zonne-auto, over de energieproductie van de zonnecellen en over de ladingstoestand van de accu's. Ook wordt het weerbericht op de voet gevolgd. Met die gegevens berekent het team de optimale snelheid voor de zonne-auto. Die geven ze dan door aan de coureur. Zo heeft het *Solar Team Twente* er al vanaf de eerste dag rekening mee gehouden dat het aan het einde van de race bewolkt kan zijn. *Maar aangezien ze de laatste dag ook bewolking en zelfs regen verwachten, kunnen we dan alleen maar op de accu rijden. En die energie moet nu worden gespaard. Australië is wel een zonnig land, maar de zon schijnt niet altijd*, schrijft de meteorologe van het team, Helga van Leur, in haar blog.

De beste prestatie van het Twentse team was tot nu toe een vijfde plaats. De concurrentie, bijvoorbeeld uit Delft, is moordend. Elk jaar opnieuw zetten de studenten alles op alles om het goud binnen te halen.

Opgaven

1 Tijdens de *World Solar Challenge* is het weleens bewolkt.

- **a** Wat kan de bestuurder van een zonne-auto dan het beste doen?
  - **A** langzamer rijden
  - **B** sneller rijden
  - **C** de accu's loskoppelen van de zonnepanelen
- **b** Licht je keuze toe.
- **c** Zonnepanelen zetten de ene vorm van energie om in een andere. Om welke omzetting gaat het hier?
  - **A** van warmte naar bewegingsenergie
  - **B** van warmte naar elektrische energie
  - **C** van stralingsenergie naar bewegingsenergie
  - **D** van stralingsenergie naar elektrische energie

2 Om de accu's zo goed mogelijk op te laden, zet het team 's ochtends voor de start de auto schuin.

- **a** Leg uit waarom de accu's daardoor sneller worden opgeladen. Maak ook schetsen van de auto in een schuine en in een gewone stand.
- **b** Het maximale vermogen dat de zon in Australië levert is ongeveer 1300 watt per vierkante meter.
  Hoeveel vermogen aan zonlicht valt er maximaal op de zonnecellen van de Twentse auto?
- **c** Een van de Twentse studenten zegt dat de zonnepanelen van hun auto ongeveer het vermogen leveren van een kleine waterkoker. Zoek op wat het vermogen van een waterkoker is.
- **d** Vergelijk je antwoord van vraag c met dat van vraag b. Wat valt je op?
- **e** Geef minstens twee verklaringen voor wat je bij vraag d hebt gevonden.

3 In het elektrisch systeem van een zonne-auto zitten schakelaars die door het *Battery Management System* worden bediend.
De zonnepanelen worden gebruikt om de accu's op te laden, de motor aan te drijven of beide tegelijk.
De accu's worden gebruikt om de motor extra energie te geven.
Ga uit van drie schakelaars:

- Schakelaar 1 zit tussen de zonnepanelen en de accu's.
- Schakelaar 2 zit tussen de zonnepanelen en de motor.
- Schakelaar 3 zit tussen de accu's en de motor.

- **a** Overdag wordt er zo hard mogelijk gereden. Welke schakelaars staan dan open en welke zijn gesloten?
- **b** Voor het begin van de race wordt de auto in de zon gezet. Welke schakelaars staan dan open en welke worden gesloten?

4 De zonne-auto moet zo min mogelijk energie verbruiken tijdens het rijden. Bij de bouw van de auto is hier al rekening mee gehouden.
Wat hebben de ontwerpers bedacht om de auto zo zuinig mogelijk te laten rijden?


NOLAN
92



6 Bewegen

Sport en verkeer

In de sport en in het verkeer draait alles om beweging. Daarom zijn er allerlei technieken ontwikkeld om bewegingen vast te leggen, te analyseren en te beschrijven. De resultaten worden gebruikt om het verkeer veiliger te maken en om sportprestaties te verbeteren.

1 Bewegingen vastleggen

Veel bewegingen verlopen zo snel dat je ze met het blote oog niet goed kunt volgen. Maar soms willen mensen toch graag weten hoe zo'n beweging verloopt. Hoogspringers en turners kunnen die informatie bijvoorbeeld gebruiken om hun prestaties te verbeteren. Daarom zijn er verschillende manieren bedacht om bewegingen vast te leggen en te analyseren.

Bewegingen filmen

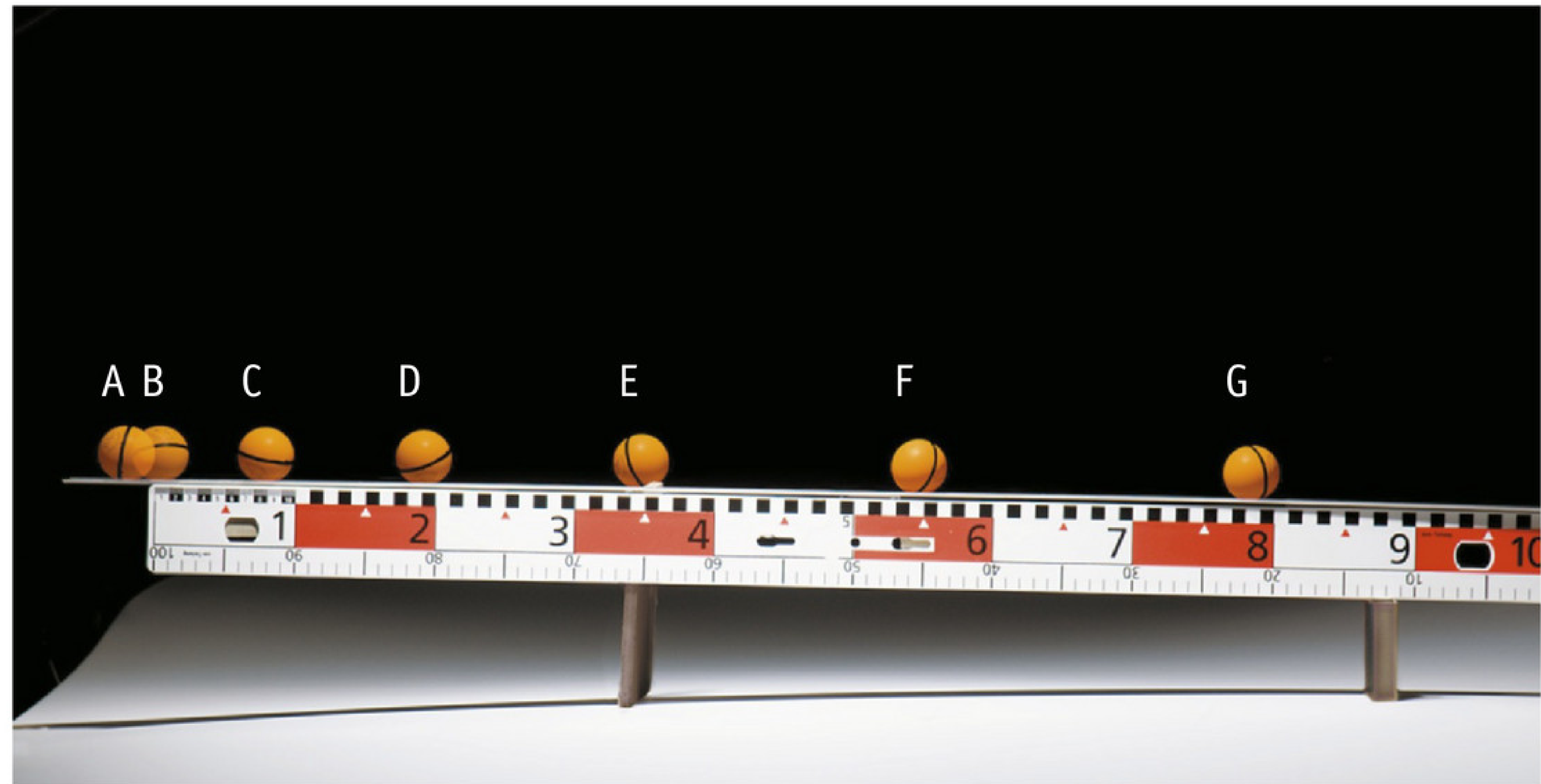
Je kunt een beweging vastleggen door het bewegende voorwerp te filmen met een videocamera. In de camera wordt dan een **video-opname** opgeslagen: een serie beelden die met korte tussenpozen zijn gemaakt (figuur 1). Veel videocamera's maken opnames van dertig beelden per seconde. De tijd tussen twee opeenvolgende beelden is dan 1/30 s (33 ms).



▲ **figuur 1**
een serie beelden uit een video-opname

Er zijn computerprogramma's waarmee je een video-opname beeld voor beeld kunt analyseren. Vaak kun je in zo'n programma het voorwerp 'aanklikken' waarvan je de beweging wilt volgen. Het programma verzamelt dan gegevens over de plaats en de snelheid van het voorwerp, en presenteert die in een tabel of een grafiek.

Je kunt niet elke video-opname zo analyseren. Voor een goed resultaat heb je een opname nodig waarbij het voorwerp voor een stilstaande camera langs beweegt. Ook moet er op de opname een meetlat te zien zijn of een ander voorwerp waarvan je de afmetingen kent; daarmee kun je aangeven wat de **schaal** is van het beeld. Tenslotte moet je weten uit hoeveel beelden per seconde de opname bestaat.



▶ **figuur 2**
een stroboscopische foto van een rollende bal

Stroboscopische foto's maken

Je kunt een beweging ook vastleggen door een **stroboscopische foto** te maken. Zo'n foto maak je in een verduisterde ruimte, met als enige verlichting een stroboscooplamp. Dat is een lamp die met regelmatige tussenpozen een korte lichtflits geeft. De tijd tussen twee lichtflitsen kun je instellen.

Tijdens de beweging blijft de sluiter voor de lens van het fototoestel open staan. Elke keer dat de lamp een lichtflits geeft, wordt een momentopname van de beweging vastgelegd. Alle momentopnames komen samen op één foto terecht (figuur 2). Je kunt eenvoudig aflezen op welke plaats het voorwerp zich op elk moment bevindt.

Een video-opname van een beweging bestaat uit een hele serie beelden. Je kunt de opname met een computerprogramma bewerken tot één gecombineerd beeld. Op die manier krijg je ook een soort stroboscopische foto (figuur 3).



▶ **figuur 3**
een 'stroboscopische foto' op basis van een video-opname

Een plaats-tijdtabel invullen Proef 1

Om een rechtlijnige beweging te analyseren kun je een **plaats-tijdtabel** maken. De gegevens voor zo'n tabel haal je uit een video-opname of een stroboscopische foto. Je moet dan wel weten:
- met welke tussenpozen de momentopnames zijn gemaakt;
- hoe groot de afstanden op de beelden in werkelijkheid zijn.

Bij de beweging in figuur 2 is de tijdsduur tussen twee opeenvolgende lichtflitsen 0,5 s. De plaats van de bal kun je aflezen op de meetlat. Daarbij kijk je steeds naar de rechterkant van de bal, omdat de bal naar rechts beweegt.

▼ **tabel 1** een plaats-tijdtabel

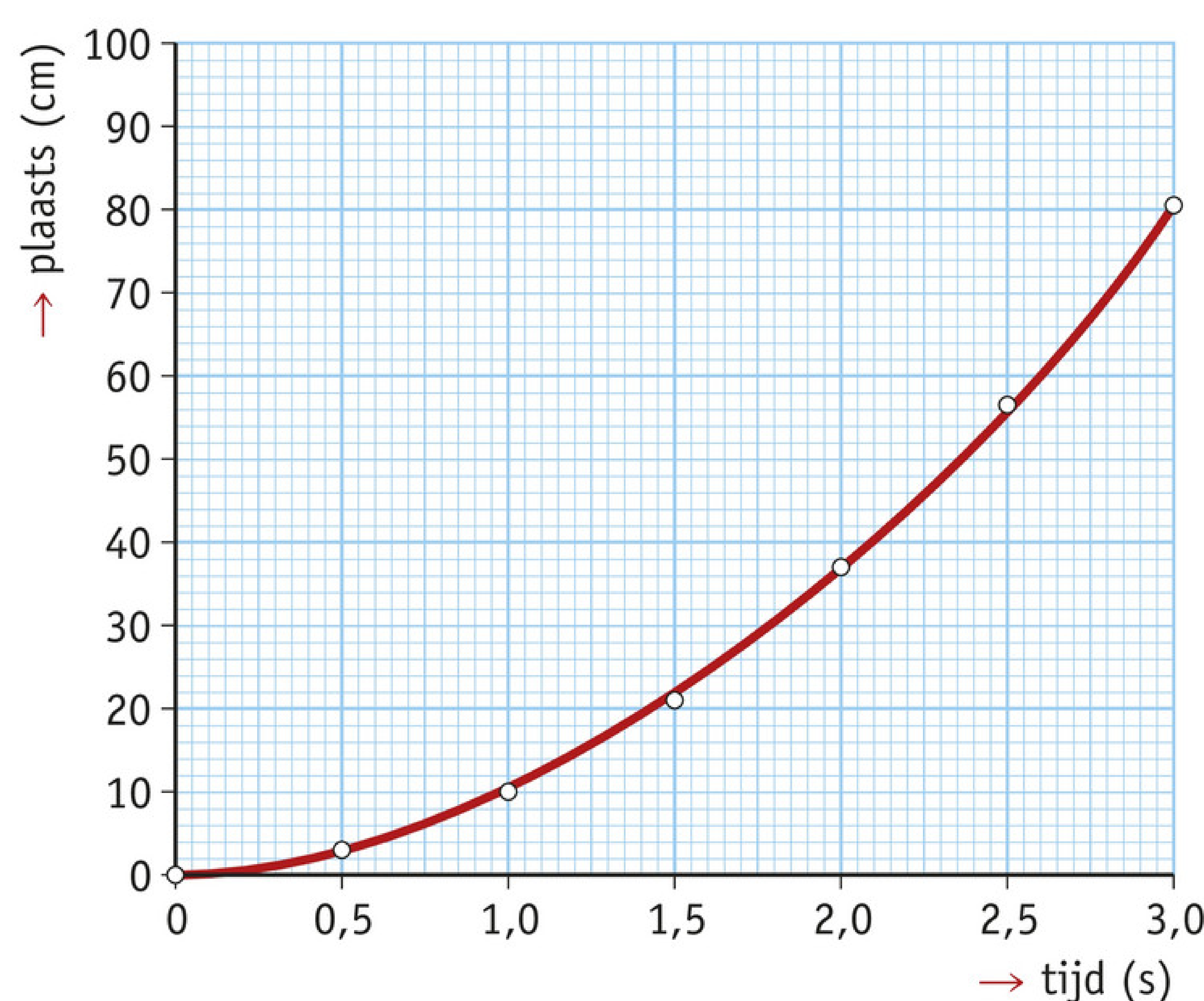
	tijd (s)	plaats (cm)
A	0	0
B	0,5	3,0
C	1,0	10
D	1,5	
E		
F		

Nu je dit weet, kun je de plaats-tijdtabel invullen.
- De beweging begint bij A. De rechterkant van de bal valt precies samen met de nul op de meetlat. Dus zet je in tabel 1 bij punt A: tijd = 0 s en plaats = 0 cm.
- Vervolgens lees je af waar de bal is bij B: 3,0 cm. Je noteert in de tabel bij punt B: tijd = 0,5 s en plaats = 3,0 cm.

Ga zelf na hoe tabel 1 verder moet worden ingevuld.

Een plaats-tijddiagram tekenen

Met de plaats-tijdtabel kun je een grafiek van de beweging tekenen. Zo'n grafiek wordt een **plaats-tijddiagram** of (x,t)-diagram genoemd. De letter x staat hier voor plaats en de letter t voor tijd. In figuur 4 is het (x,t)-diagram getekend van de beweging in figuur 2. Uit een (x,t)-diagram kun je bij elk tijdstip de bijbehorende plaats aflezen, en omgekeerd.



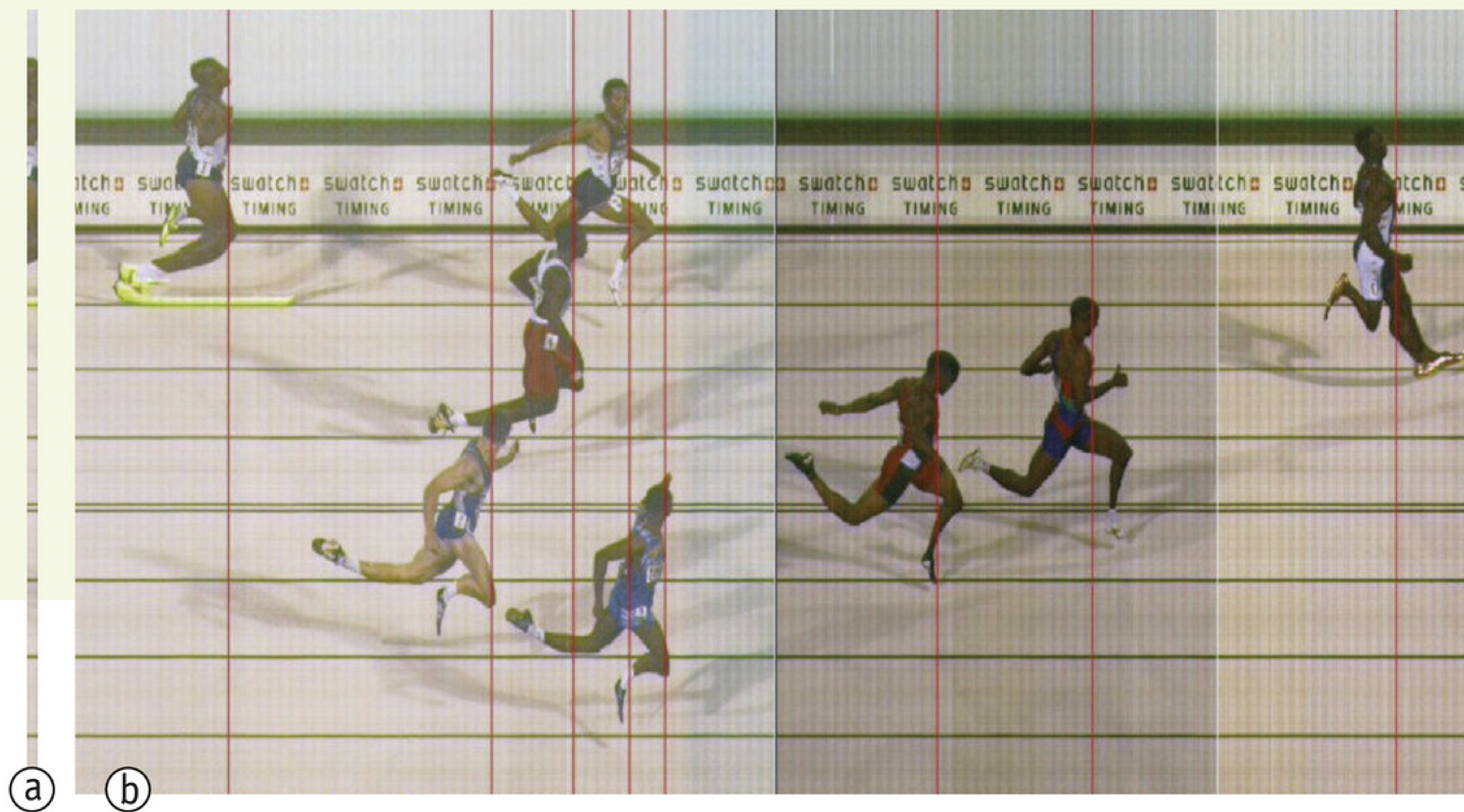
▶ **figuur 4** het (x,t)-diagram van de rollende bal

Plus Finishfoto's

Bij de 100 meter hardlopen komen de atleten vaak bijna gelijktijdig over de finish. Soms heeft de jury een **finishfoto** nodig om erachter te komen wie de winnaar is. Op zo'n foto kun je duidelijk zien in welke volgorde de atleten de finishlijn zijn gepasseerd.
Een finishfoto wordt gemaakt met een speciale camera. Voor de lens van die camera zit een scherm met een verticale spleet. Door die spleet is een smalle strook van de baan te zien, ter hoogte van de finishlijn. Als je één opname met de camera maakt, krijg je een smalle foto waar alleen de 'finishstrook' op staat (figuur 5a).

De camera bij de finishlijn is een digitale camera die tot wel tienduizend beelden per seconde kan maken. De finishfoto bestaat uit een hele serie van die opnames naast elkaar (figuur 5b). Rechts op de foto zie je dan de atleet die als eerste op de finish was, en links de atleet die als laatste op de finish was.

▼ **figuur 5**
Een finishfoto bestaat uit een serie opnames naast elkaar. Links zie je één losse opname, rechts de hele finishfoto.



opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Noteer twee manieren om een snelle beweging vast te leggen.
- **b** Hoe noem je een lamp die met vaste tussenpozen een lichtflits geeft?
- **c** Hoe noem je een foto die met behulp van zo'n lamp gemaakt wordt?
- **d** Wat wordt er bedoeld met 'het (x,t)-diagram van een beweging'?

2 Rolanda heeft een video-opname gemaakt van een vallende basketbal. Nu wil ze een plaats-tijdtabel van deze beweging maken.
Welke twee dingen moet ze eerst nagaan, voordat ze de tabel kan invullen?

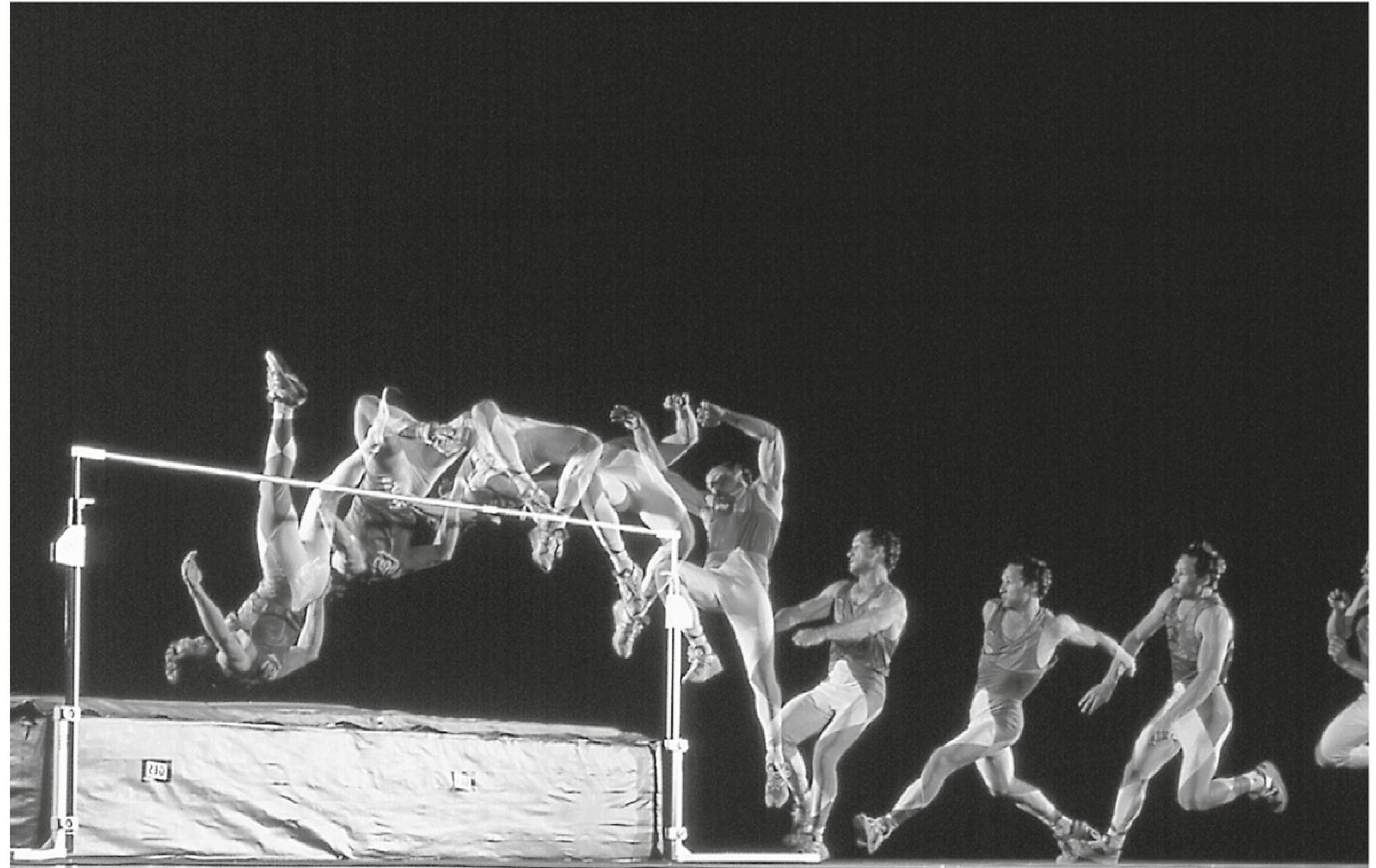
3 In figuur 6 zie je twee foto's. Bij het nemen van beide foto's bleef de sluiter van het fototoestel tijdens de opslag openstaan.
- **a** Bij welke foto werd de tafeltennisspeler verlicht door een gewone lamp? Waaraan zie je dat?
- **b** Bij welke foto werd de tafeltennisspeler verlicht door een stroboscooplamp? Waaraan zie je dat?





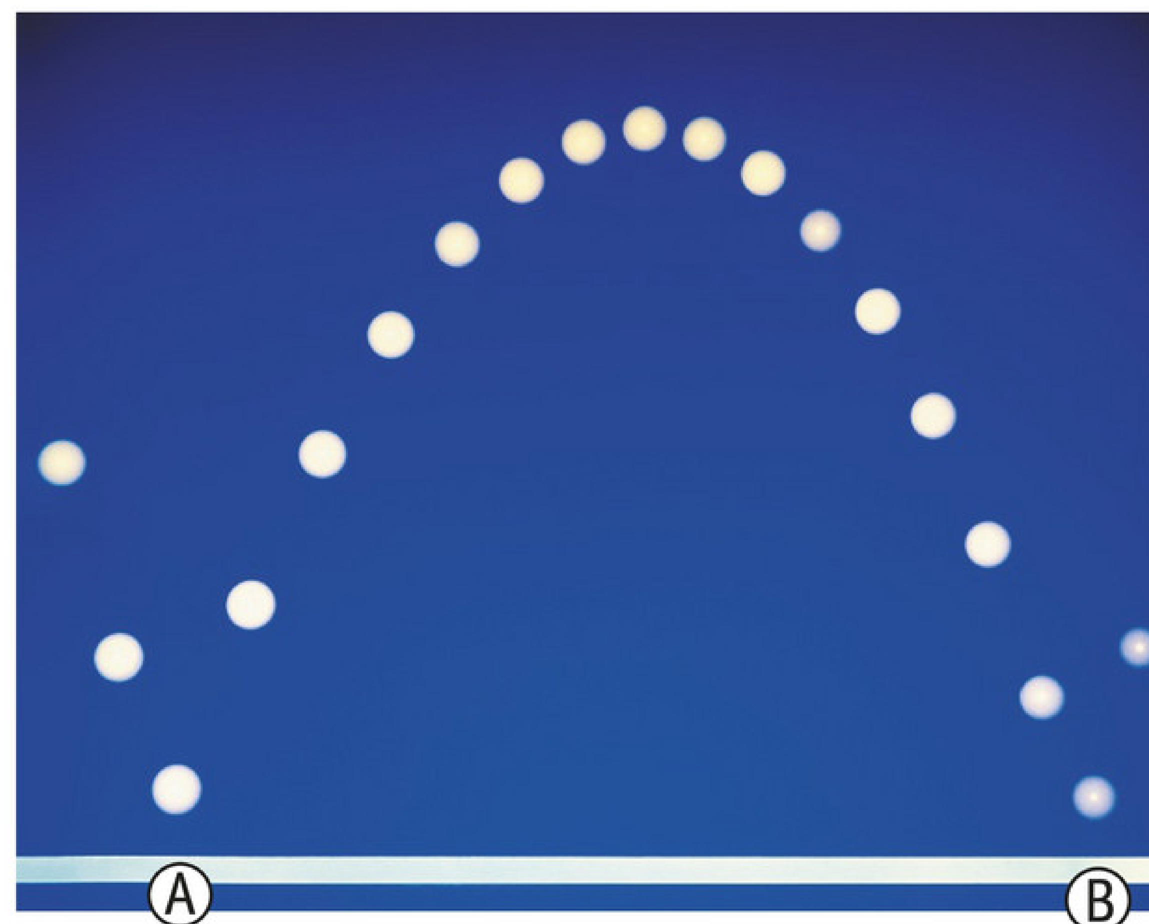
◀ **figuur 6**
Gewone lamp of stroboscooplamp?

4 De foto in figuur 7 is gemaakt met een stroboscooplamp.
a Hoeveel keer heeft de lamp geflitst tijdens de sprong?
b De tijdsduur tussen twee lichtflitsen is 0,15 seconde.
Hoeveel tijd heeft de hele beweging geduurd (van het eerste tot het laatste vastgelegde moment)?



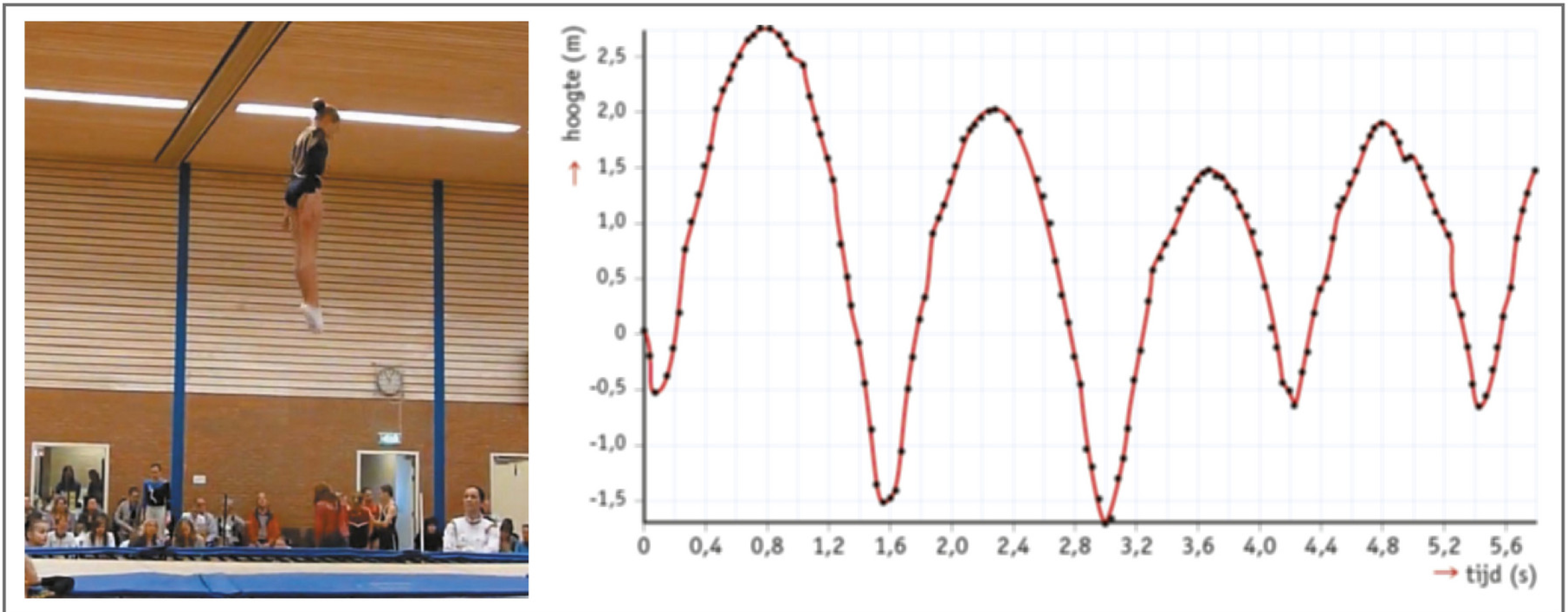
▶ **figuur 7**
de beweging van een hoogspringer

5 In figuur 8 zie je een stroboscopische foto van een stuiterende bal.
a Wanneer beweegt het balletje het snelst? Waaraan zie je dat?
b Wanneer beweegt het balletje het langzaamst? Waaraan zie je dat?
c Het balletje raakt bij A en B de grond. Hoeveel tijd zit daartussen? De tijd tussen twee opeenvolgende lichtflitsen is 0,05 s.
d Stel dat de fotograaf van figuur 8 de stroboscooplamp had ingesteld op 0,10 s.
Hoeveel keer zou je dan het balletje zien tussen A en B?



▶ **figuur 8**
een stuiterende bal

6 In figuur 9 zie je een videometing van een persoon die op een trampoline springt. In het diagram is de hoogte uitgezet tegen de tijd.
- **a** Hoeveel sprongen zijn in dit voorbeeld gemeten?
- **b** Hoe hoog was de hoogste sprong?
- **c** Op welke momenten bewoog de trampolinespringer het langzaamst?



▲ **figuur 9**
een videometing van een serie sprongen op een trampoline

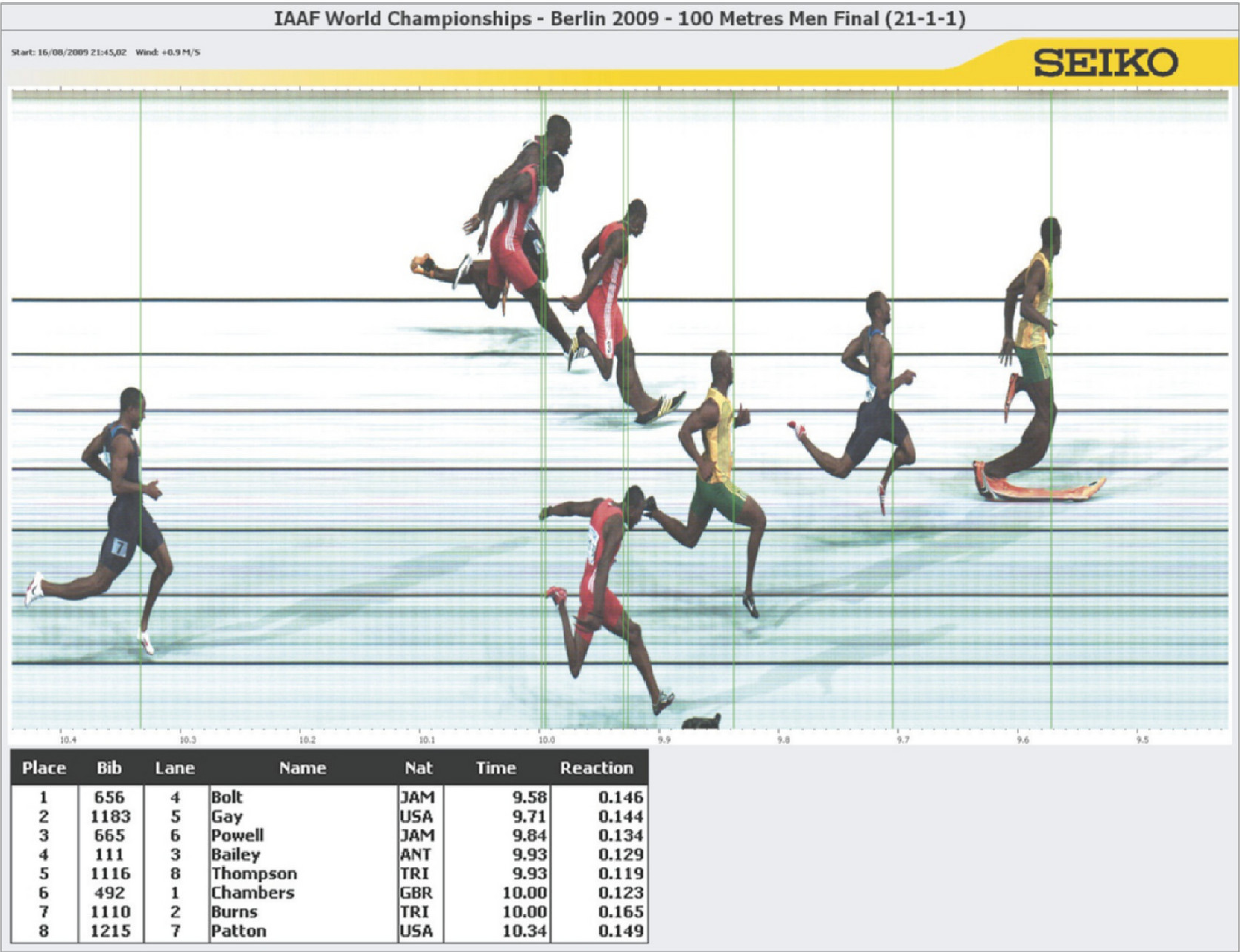
***7** In Science Center NEMO in Amsterdam kun je een druppel laten 'zweven'. Uit een kraantje valt met vaste tussenpozen een druppel. Je ziet de druppel in het licht van een stroboscooplamp. Als je aan de knop van de stroboscoop draait, zie je bij een bepaalde stand van de knop een 'zwevende druppel'.
Leg uit hoe dat kan.

Plus Finishfoto's

8 Een finishfoto wordt gemaakt met een speciale camera.
Neem over en vul in.
- **a** Voor de lens van deze camera zit een scherm met een …
- **b** Daardoorheen is een smalle strook van de … te zien, ter hoogte van de …
- **c** Als je één opname maakt, krijg je een smalle foto waar alleen de … opstaat.
- **d** Leg uit wat je op een echte finishfoto ziet.

***9** In figuur 10 zie je een finishfoto van de 100 meter sprint voor mannen. Onder in beeld zie je de tijden van de atleten.

- **a** Waar in de foto lopen de renners met de snelste tijden, links of rechts?
- **b** Wat is de eindtijd van de winnaar?
- **c** Naar welk lichaamsdeel wordt gekeken bij het bepalen van de eindtijd, en dus ook bij het aanwijzen van de winnaar?
- **d** De voet van de renner rechts op de foto is op een rare manier uitgerekt.
  Leg uit hoe dat komt.
- **e** Hoeveel tijd zat er tussen de winnaar en de sprinter die als laatste finishte?
- **f** Hoeveel centimeter afstand zit er op de foto tussen de winnaar en de laatste sprinter?
- **g** Bereken met welk tijdsverschil een centimeter afstandsverschil op de foto overeenkomt.



Place	Bib	Lane	Name	Nat	Time	Reaction
1	656	4	Bolt	JAM	9.58	0.146
2	1183	5	Gay	USA	9.71	0.144
3	665	6	Powell	JAM	9.84	0.134
4	111	3	Bailey	ANT	9.93	0.129
5	1116	8	Thompson	TRI	9.93	0.119
6	492	1	Chambers	GBR	10.00	0.123
7	1110	2	Burns	TRI	10.00	0.165
8	1215	7	Patton	USA	10.34	0.149

▲ **figuur 10**
de finishfoto van de finale van de 100 meter sprint voor mannen (WK 2009)

2 Gemiddelde snelheid

Een wielrenner die een etappe van 184 kilometer in 4 uur aflegt, heeft een gemiddelde snelheid van 46 kilometer per uur. Dat betekent natuurlijk niet dat zijn snelheid de hele tijd precies 46 km/h was. Maar als hij wel voortdurend 46 km/h gereden had, zou hij dezelfde afstand (184 km) in dezelfde tijd (4 uur) hebben afgelegd.

De gemiddelde snelheid berekenen

Als je een bepaald traject fietst geeft de **gemiddelde snelheid** vaak een goede indruk van je snelheid in dat traject. Je kunt de gemiddelde snelheid berekenen door de afgelegde afstand te delen door de tijd die ervoor nodig was:

$$\text{gemiddelde snelheid} = \frac{\text{afstand}}{\text{tijd}}$$

Of in symbolen:

$$v_{gem} = \frac{s}{t}$$

Als je de afstand s invult in meters en de tijd t in seconden, krijg je de gemiddelde snelheid v_{gem} in meter per seconde (m/s). Als je de afstand invult in kilometers en de tijd in uren, krijg je de gemiddelde snelheid in kilometer per uur (km/h).

Uit een plaats-tijddiagram van een beweging kun je de afgelegde afstand aflezen. Je noteert op welke plaats de beweging is begonnen en op welke plaats de beweging is geëindigd. Het verschil tussen die twee waarden is de afgelegde afstand. Vaak begint een plaats-tijddiagram bij 0 meter. In dat geval geeft de plaats van het eindpunt meteen ook de afgelegde afstand.

Voorbeeldopgave 1
Een sprintster loopt de 100 meter in 10,8 s.
Bereken haar gemiddelde snelheid.

gegevens $s = 100$ m
$t = 10{,}8$ s

gevraagd $v_{gem} = ?$

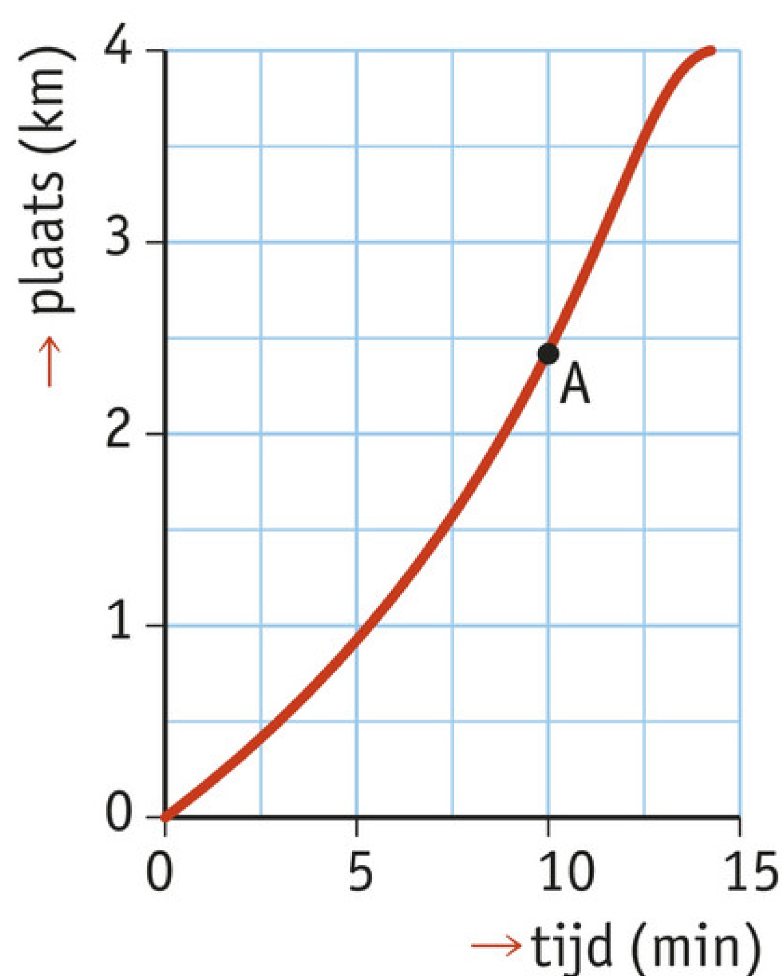
uitwerking $v_{gem} = \frac{s}{t} = \frac{100}{10{,}8} = 9{,}26$ m/s

Voorbeeldopgave 2
Ben fietst elke dag naar school. In figuur 11 zie je het plaats-tijddiagram van een van zijn fietstochten. Bij punt A in de grafiek zag Ben dat het al laat was en ging hij sneller fietsen. Bereken de gemiddelde snelheid van Ben vanaf punt A tot zijn aankomst op school.

gegevens $s = 4{,}0 - 2{,}4 = 1{,}6$ km = 1600 m
$t = 14 - 10 = 4$ min = 240 s

gevraagd $v_{gem} = ?$

uitwerking $v_{gem} = \frac{s}{t} = \frac{1600}{240} = 6{,}67$ m/s



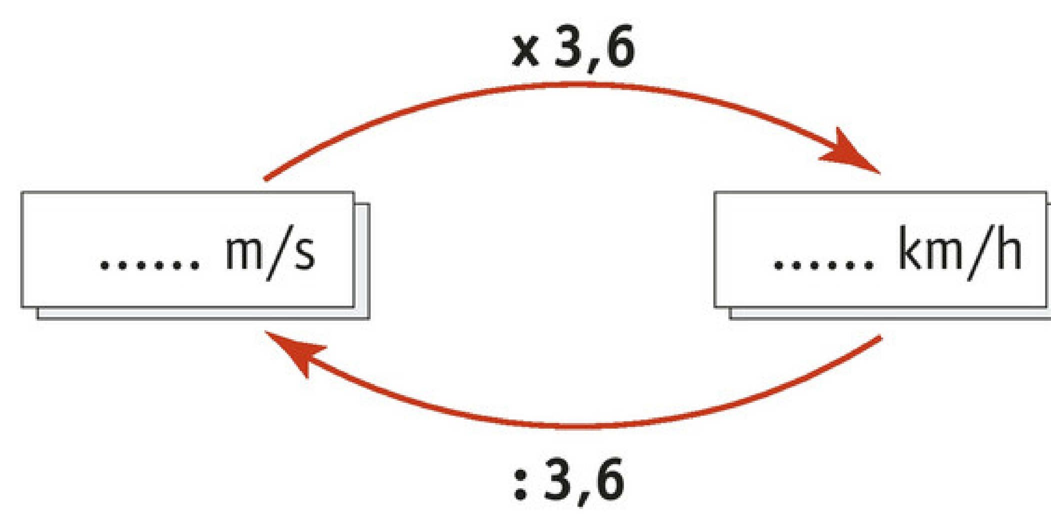
▲ **figuur 11**
het (x,t)-diagram van een fietsrit van huis naar school

Snelheid omrekenen

Vaak is het handig om snelheid om te rekenen van m/s naar km/h, en omgekeerd. Als je 6,7 m/s omrekent, kom je (afgerond) uit op een snelheid van 24,1 km/h. De snelheid in km/h zegt je waarschijnlijk meer dan die in m/s, omdat je gewend bent om snelheden in km/h uit te drukken. Voor het omrekenen moet je weten dat 1 km = 1000 m en 1 h = 3600 s.

Bij een snelheid van 10 m/s redeneer je als volgt: als je in 1 seconde 10 meter aflegt, leg je (met dezelfde snelheid) in 1 uur 3600 × 10 meter af. Je kunt dus opschrijven:

$$10 \text{ m/s} = \frac{3600 \times 10 \text{ m}}{3600 \times 1 \text{ s}} = \frac{36\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{36 \text{ km}}{1 \text{ h}} = 36 \text{ km/h}$$



▲ **figuur 12**
een schema om van m/s om te rekenen naar km/h en omgekeerd

Ga na dat vermenigvuldigen met 3,6 hetzelfde resultaat oplevert (figuur 12).

Omrekenen van km/h naar m/s gaat zo:

$$36 \text{ km/h} = \frac{36 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{36\,000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 10 \text{ m/s}$$

Ga na dat dit overeenkomt met delen door 3,6.

Afstand en tijd berekenen

Je kunt de formule:

$$v_{gem} = \frac{s}{t}$$

ook gebruiken om er de afstand of de tijd mee te berekenen. Het is handig om de formule dan op een andere manier op te schrijven, met de gevraagde grootheid voorop.

Als je de gemiddelde snelheid en de tijd kent, kun je de afgelegde afstand berekenen. Je schrijft de formule dan als:

$$s = v_{gem} \cdot t$$

Als de gemiddelde snelheid en de afgelegde afstand bekend zijn, kun je berekenen hoeveel tijd er voor de beweging nodig was. In dat geval schrijf je de formule als:

$$t = \frac{s}{v_{gem}}$$

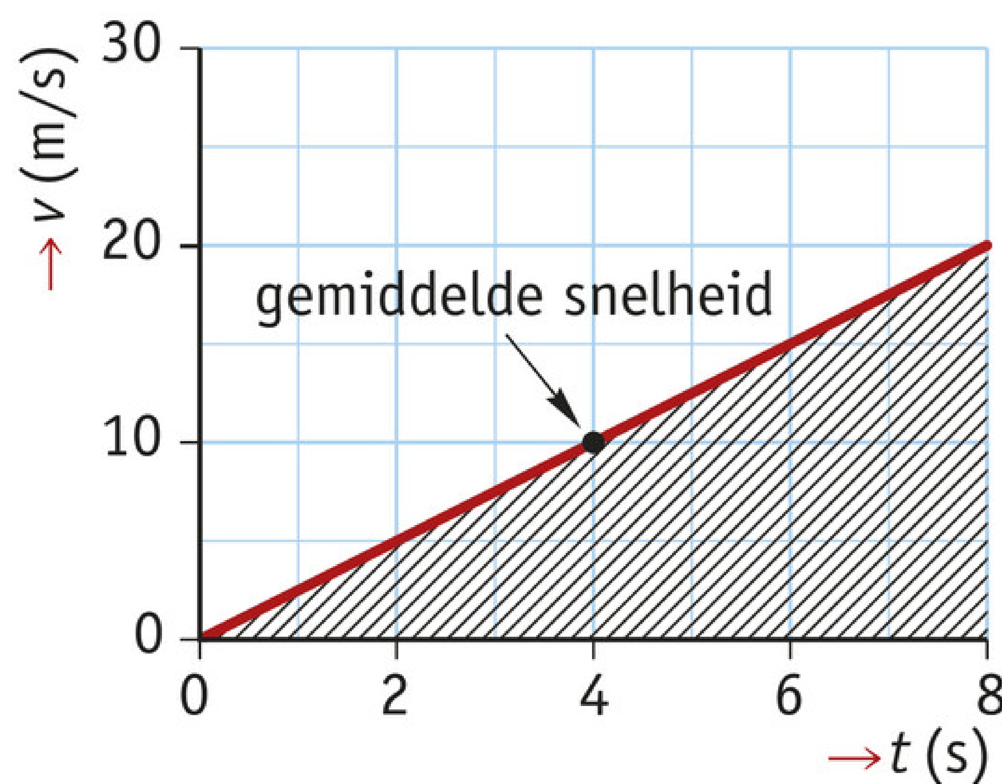
Voorbeeldopgave 3

Anne maakt een wandeltocht van 50 kilometer met een gemiddelde snelheid (rustpauzes meegerekend) van 4,5 km/h.
Bereken hoe lang ze over deze tocht doet.

gegevens $s = 50$ km
$v_{gem} = 4{,}5$ km/h

gevraagd $t = ?$

uitwerking $t = \frac{s}{v_{gem}} = \frac{50}{4{,}5} = 11$ uur



▲ **figuur 13**
het (*v*,*t*)-diagram van een auto

Snelheid-tijddiagrammen

Je kunt een beweging vastleggen met een plaats-tijddiagram, maar dat kan ook met een **snelheid-tijddiagram** ofwel een **(*v*,*t*)-diagram**. In figuur 13 zie je het (*v*,*t*)-diagram van een auto die steeds sneller gaat rijden.

Je ziet dat de snelheid zeer regelmatig toeneemt: van 0 m/s op t = 0 s tot 20 m/s op t = 8 s. Met de grafiek kun je de gemiddelde snelheid eenvoudig vinden: dat is de snelheid die precies 'in het midden' ligt, dus in dit geval 10 m/s.

Als de snelheid regelmatig toeneemt, is de grafiek in het (*v*,*t*)-diagram een rechte lijn. Je kunt de gemiddelde snelheid dan berekenen met de volgende formule:

$$v_{gem} = \frac{v_{begin} + v_{eind}}{2}$$

In het voorbeeld is dat: $v_{gem} = \frac{0 + 20}{2} = 10$ m/s

De afstand die deze auto in 10 s heeft afgelegd is:
$s = v_{gem} \cdot t = 10 \times 8 = 80$ m.

Je kunt die afgelegde afstand ook op een andere manier uitrekenen. In figuur 13 kun je het oppervlak O van de gearceerde driehoek uitrekenen met O = (½ × hoogte) × basis = ½ × 20 × 8 = 80. Dat daar ook 80 uitkomt is niet toevallig. Dat komt doordat de halve hoogte gelijk is aan de gemiddelde snelheid en de basis gelijk is aan de tijd. Het oppervlak onder de (*v*,*t*)-grafiek is dus gelijk aan de afgelegde afstand.
Dit blijkt algemeen te gelden:

Het oppervlak onder de grafiek in een (*v*,*t*)-diagram is gelijk aan de afgelegde afstand.

Plus Snelheidscontroles



▲ figuur 14
een flitspaal

Op alle wegen in Nederland gelden maximumsnelheden. Op veel snelwegen is dat maximaal 130 km/h en in dorpen en steden 50 km/h. De politie controleert de snelheid van auto's op drie manieren.

De eerste methode werkt met **flitspalen** langs de wegen (figuur 14). Het apparaat in die paal zendt radiogolven uit naar de voorbijrijdende auto's. Uit de teruggekaatste radiogolf kan het apparaat dan de snelheid van de auto berekenen. Als die te hoog is, maakt de flitspaal een foto. De eigenaar van de auto krijgt dan een boete thuisgestuurd.

Bij de tweede methode gebruikt de politie een **lasergun** (figuur 15). Een laserstraal is een dunne, geconcentreerde lichtbundel met licht van maar één kleur. De lasergun zendt voortdurend korte laserpulsen uit. Je kunt dat vergelijken met een zaklamp waarbij je telkens op de aan-/uitknop drukt. De agent richt de lasergun op een langsrijdende auto. De auto kaatst de laserpuls terug, die de lasergun weer opvangt. De lasergun berekent vervolgens de tijd tussen uitzenden en ontvangen. Met behulp van die tijd en de snelheid van het licht berekent de lasergun hoe ver de auto verwijderd was van de agent. Bij de volgende puls is de auto wat verder weg en herhaalt de lasergun de berekening. Het apparaat kent dan twee afstanden en ook de tijd tussen twee pulsen. Zo kan de lasergun de snelheid van de auto uitrekenen.



▲ figuur 15
een lasergun

Bij de nieuwste methode wordt niet de snelheid op een bepaald moment, maar de gemiddelde snelheid over een bepaalde afstand gemeten. Deze methode heet **trajectcontrole**. Boven een snelweg worden op een afstand van een paar kilometer van elkaar twee camera's, A en B, gehangen. Camera A geeft aan camera B het kenteken door en het tijdstip waarop de auto camera A passeerde. Camera B ziet na enige tijd die auto ook voorbijkomen. Een computer berekent dan de gemiddelde snelheid met behulp van het tijdsverschil en de afstand tussen de camera's.

opgaven

10 Bij wielerwedstrijden wordt vaak de gemiddelde snelheid berekend van de wielrenners.
- **a** Welke gegevens heb je nodig om de gemiddelde snelheid te kunnen berekenen?
- **b** Met welke formule (in letters) kun je daarna de gemiddelde snelheid uitrekenen?

11 Je kunt de gemiddelde snelheid opgeven in m/s of in km/h.
- **a** Hoe kun je een snelheid in m/s snel omrekenen naar km/h?
- **b** Hoe kun je een snelheid in km/h snel omrekenen naar m/s?

12 In tabel 2 staan de gegevens van vijf bewegingen.
Neem de tabel over en vul de ontbrekende gegevens in.

▼ **tabel 2** afstand, tijd en gemiddelde snelheid

afstand	tijd	gemiddelde snelheid
45 km	45 minuten	… km/h
4,5 km	80 minuten	… m/s
200 m	… s	9,0 m/s
… km	2,0 uur	85 km/h
20 km	… minuten	90 km/h

13 Bij de wereldkampioenschappen atletiek van 2011 rende de Amerikaan Walter Dix de 100 meter in 10,08 s en de 200 meter in 19,70 s.
- **a** Bereken voor elke afstand de gemiddelde snelheid in m/s en in km/h. Schrijf de volledige berekening op.
- **b** De gemiddelde snelheid is bij de 200 meter groter dan bij de 100 meter. Geef daarvoor een verklaring.

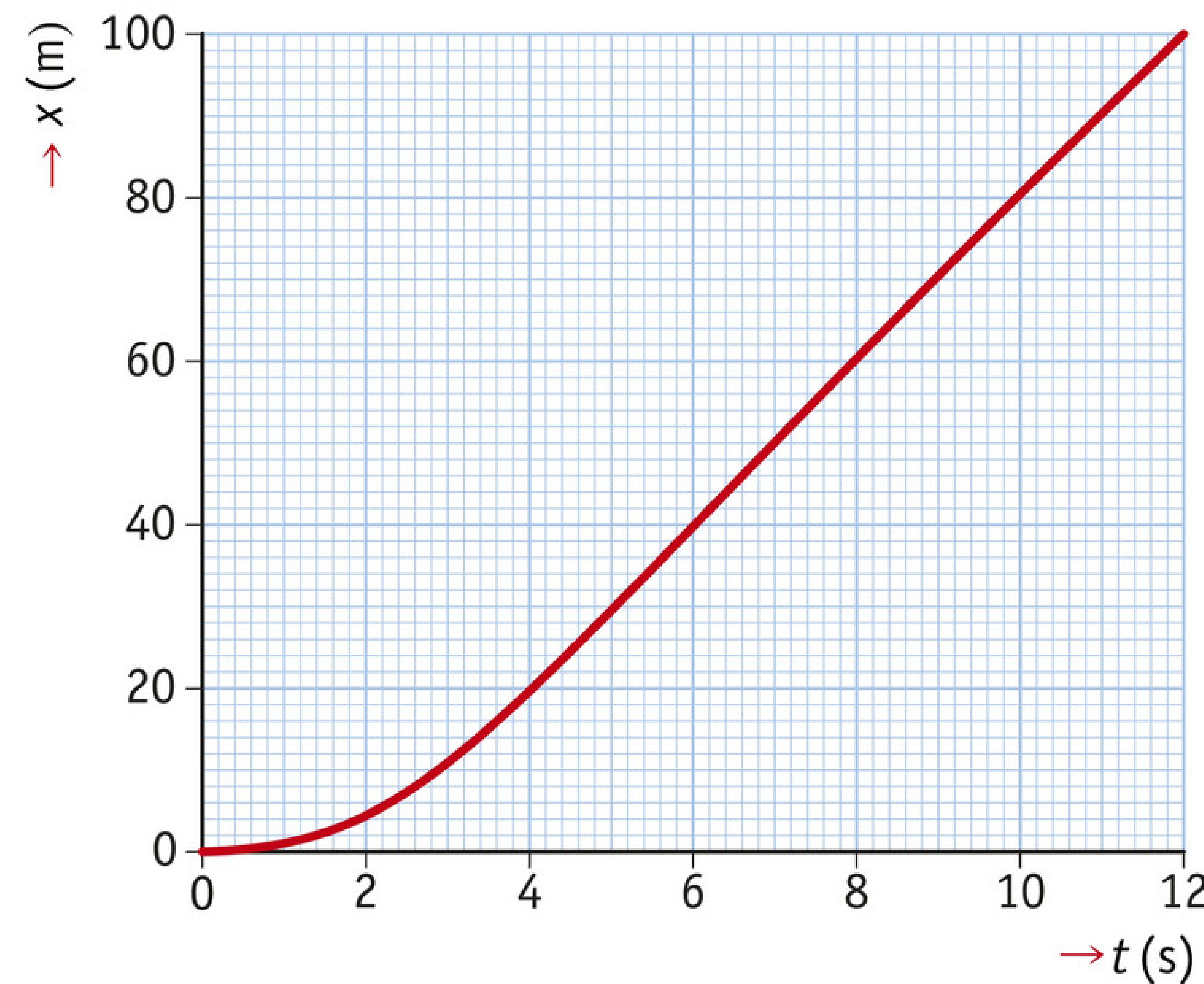
***14** Een deelnemer aan een triatlon legt 3,8 km zwemmen af in twee uur, 180 km fietsen in vijf uur en 42 km hardlopen in drie uur.
- **a** Bereken zijn gemiddelde snelheid voor elk van de drie onderdelen afzonderlijk (in km/h).
- **b** Bereken zijn gemiddelde snelheid voor de hele triatlon.
- **c** Leg uit waarom het antwoord bij vraag b niet gelijk is aan het gemiddelde van de drie antwoorden bij vraag a.

15 Fleur nadert met de auto een verkeerslicht in de bebouwde kom met een snelheid van 50 km/h. Als ze 300 m van het verkeerslicht af is, ziet ze het licht op groen springen. Ze weet dat het licht 20 seconden op groen blijft staan.
Bereken of ze het groene licht kan halen zonder de maximumsnelheid van 50 km/h te overschrijden.

16 In de grafiek van figuur 16 zie je het (x,t)-diagram van een sprinter op de 100 m.

a Bereken zijn gemiddelde snelheid in km/h.

b Bepaal de snelheid in km/h in de tijd dat de atleet met een constante snelheid liep.



▶ **figuur 16**
het (x,t)-diagram van een sprinter

17 Jeroen fietst in drie uur van Middelburg naar Bergen op Zoom (een afstand van 60 km). Over de terugweg doet hij vier uur.

a Bereken zijn gemiddelde snelheid op de heenweg.

b Bereken zijn gemiddelde snelheid op de terugweg.

c Bereken de gemiddelde snelheid, gerekend over de hele reis (heen en terug).

d Is het gemiddelde van de antwoorden bij a en b gelijk aan het antwoord bij c? Hoe komt dat?

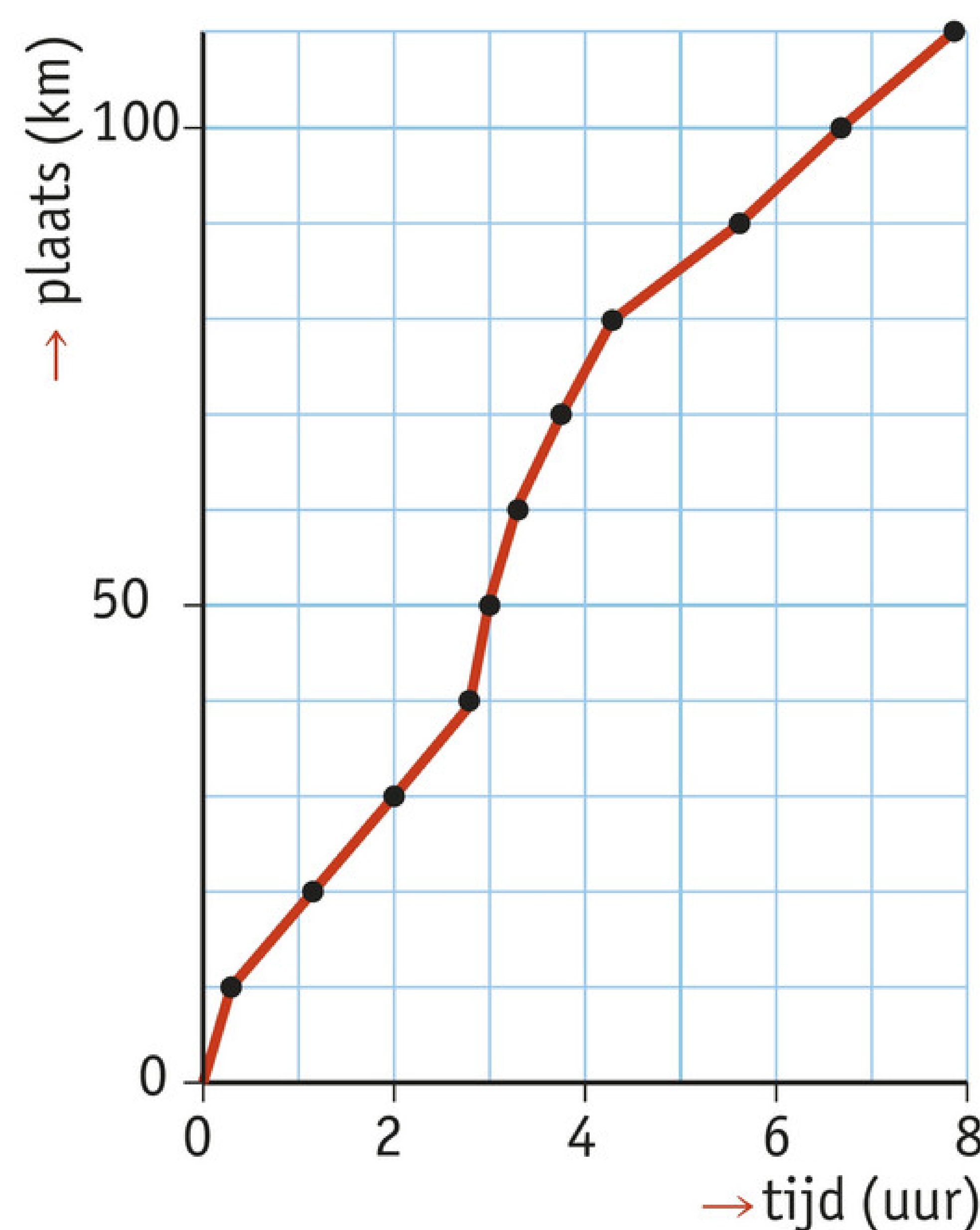
18 In figuur 17 zie je een (x,t)-diagram van een fietstocht.

a Bereken de gemiddelde snelheid over de hele tocht.

b Bereken welk traject met de grootste gemiddelde snelheid is afgelegd: de eerste helft of de tweede helft van de tocht.

c In welk deel van de tocht was de gemiddelde snelheid het grootst?

d De tocht ging over heuvelachtig terrein.
Welk deel van de tocht ging waarschijnlijk heuvelopwaarts?



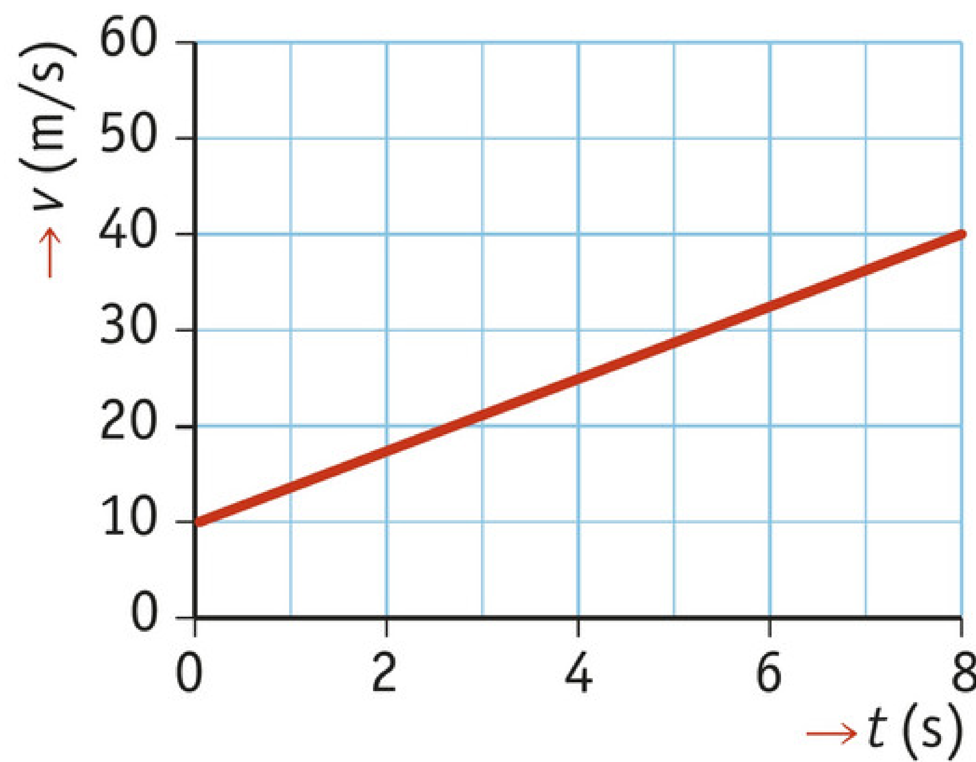
▲ **figuur 17**
het (x,t)-diagram van een fietstocht door de heuvels

19 Bekijk nog een keer de grafiek in figuur 17.

a Bereken de grootste gemiddelde snelheid over 10 km.

b Bereken de grootste gemiddelde snelheid over 20 km.

c Leg uit waarom de gemiddelde snelheid bij antwoord a groter is dan bij b.



▲ **figuur 18**
het (v,t)-diagram van een auto

20 In figuur 18 zie je het (v,t)-diagram van een auto.
- **a** Hoe kun je uit zo'n diagram de gemiddelde snelheid van de auto aflezen?
- **b** Bereken de gemiddelde snelheid met een formule.
- **c** Hoe kun je uit zo'n diagram de afstand bepalen die de auto heeft afgelegd tussen 0 en 8 s?
- **d** Hoeveel meter heeft de auto afgelegd tussen 0 en 8 s?

***21** Femke denkt dat de formule $v_{gem} = s/t$ niet klopt. "Als ik in een half uur van mijn huis naar de supermarkt fiets en weer terug, dan zou mijn gemiddelde snelheid volgens de formule nul zijn!"
Leg aan Femke uit waar haar denkfout zit.

Plus Snelheidscontroles

22 Flitspalen en laserguns hebben het nadeel dat automobilisten soms sterk afremmen als ze er een zien.
- **a** Leg uit waarom dat gevaarlijke situaties kan opleveren.
- **b** Leg uit waarom het even kort afremmen bij een trajectcontrole geen zin heeft.

23 Een politieman controleert met een lasergun de snelheid van een passerende auto.
- **a** Leg uit hoe deze methode werkt.
- **b** Stel dat de tijd tussen twee pulsen 0,15 s is en dat een auto in die tijd 2,5 m verder is gereden. Bereken de snelheid van die auto in km/h.

24 Twee camera's hangen 2,5 km uit elkaar boven een snelweg. Een auto doet er 1,3 minuten over om van camera A naar camera B te rijden.
- **a** Bereken de gemiddelde snelheid van de auto op het traject in km/h.
- **b** De automobilist krijgt geen boete voor te hard rijden, maar heeft misschien toch ergens op het traject te hard gereden.
  Leg uit hoe het kan dat een automobilist ergens tussen camera A en B te hard rijdt en toch geen boete krijgt.

3 Versneld – eenparig – vertraagd

Natuurkundigen verdelen bewegingen in soorten. Daarbij kijken ze het eerst naar de snelheid: wordt de snelheid steeds groter, blijft deze de hele tijd gelijk of neemt de snelheid steeds verder af? Of zoals een automobilist zou zeggen: is het optrekken, doorrijden of afremmen?

Van snelheid veranderen Proef 2

Bij veel sportwedstrijden verandert de snelheid tijdens de wedstrijd. In figuur 19 zijn als voorbeeld stroboscopische opnames weergegeven van drie momenten uit een tijdrit van de Tour de France.

- In figuur 19a gaat de wielrenner van start. Hij probeert vanuit stilstand zo vlug mogelijk op snelheid te komen. Zo'n beweging waarvan de snelheid steeds groter wordt, noem je een **versnelde beweging**.
- In figuur 19b rijdt de wielrenner met een constante snelheid. Hij legt dan elke seconde hetzelfde aantal meters af. Je noemt dit een **eenparige beweging**.
- In figuur 19c remt de wielrenner af nadat hij de finish is gepasseerd. Een beweging waarvan de snelheid steeds kleiner wordt, wordt een **vertraagde beweging** genoemd.


ⓐ


ⓑ

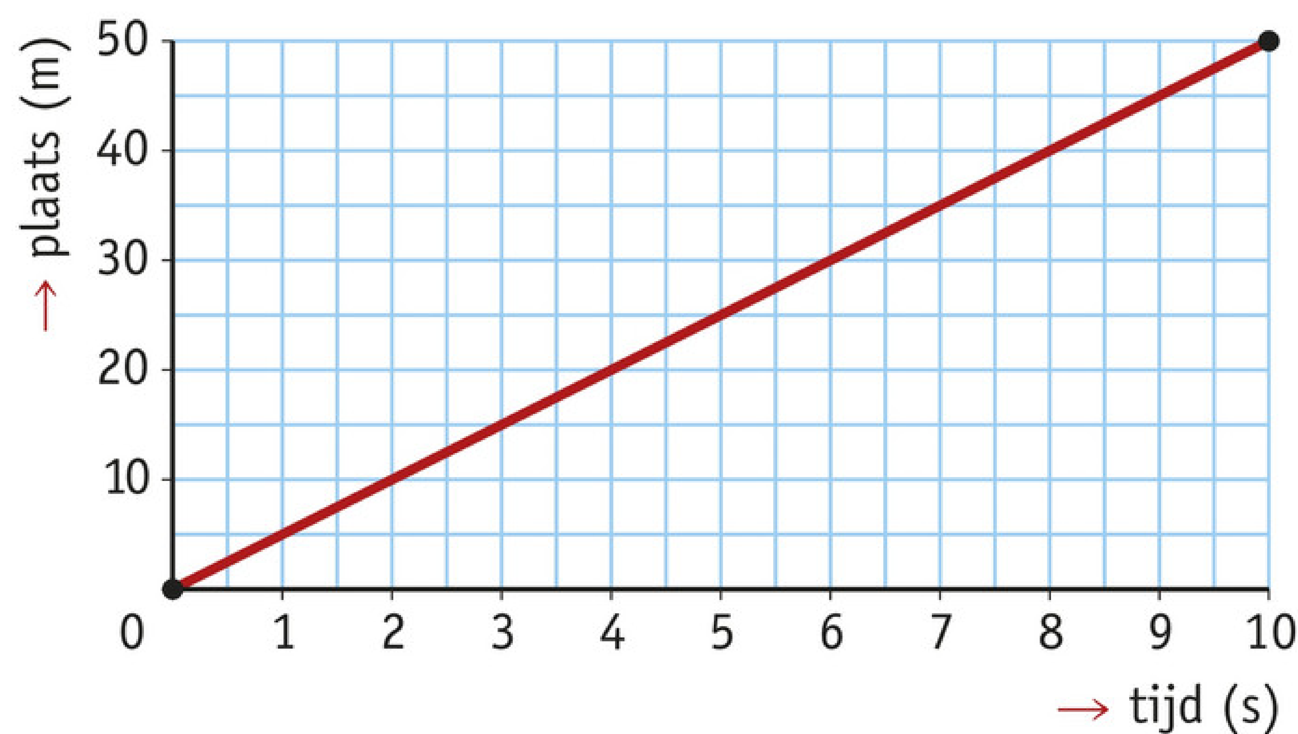

ⓒ

▲ **figuur 19**
Een tijdrit: de wielrenner beweegt achtereenvolgens versneld, eenparig en vertraagd.

De eenparige beweging

Bij een eenparige beweging verandert de snelheid niet: die blijft de hele tijd constant. Als je de gemiddelde snelheid kent, weet je meteen hoe groot de snelheid op elk moment van de beweging was. Bij een eenparige beweging geldt dus:

$$v = v_{gem} = \frac{s}{t}$$



▲ **figuur 20**
het (x,t)-diagram van een eenparige beweging

In deze formule staat v voor de snelheid op elk (!) moment van de beweging en t voor de tijd die nodig was voor het afleggen van de afstand s. In figuur 20 is het (x,t)-diagram getekend van een fietser die met een constante snelheid van 5,0 m/s fietst.

Voorbeeldopgave 4

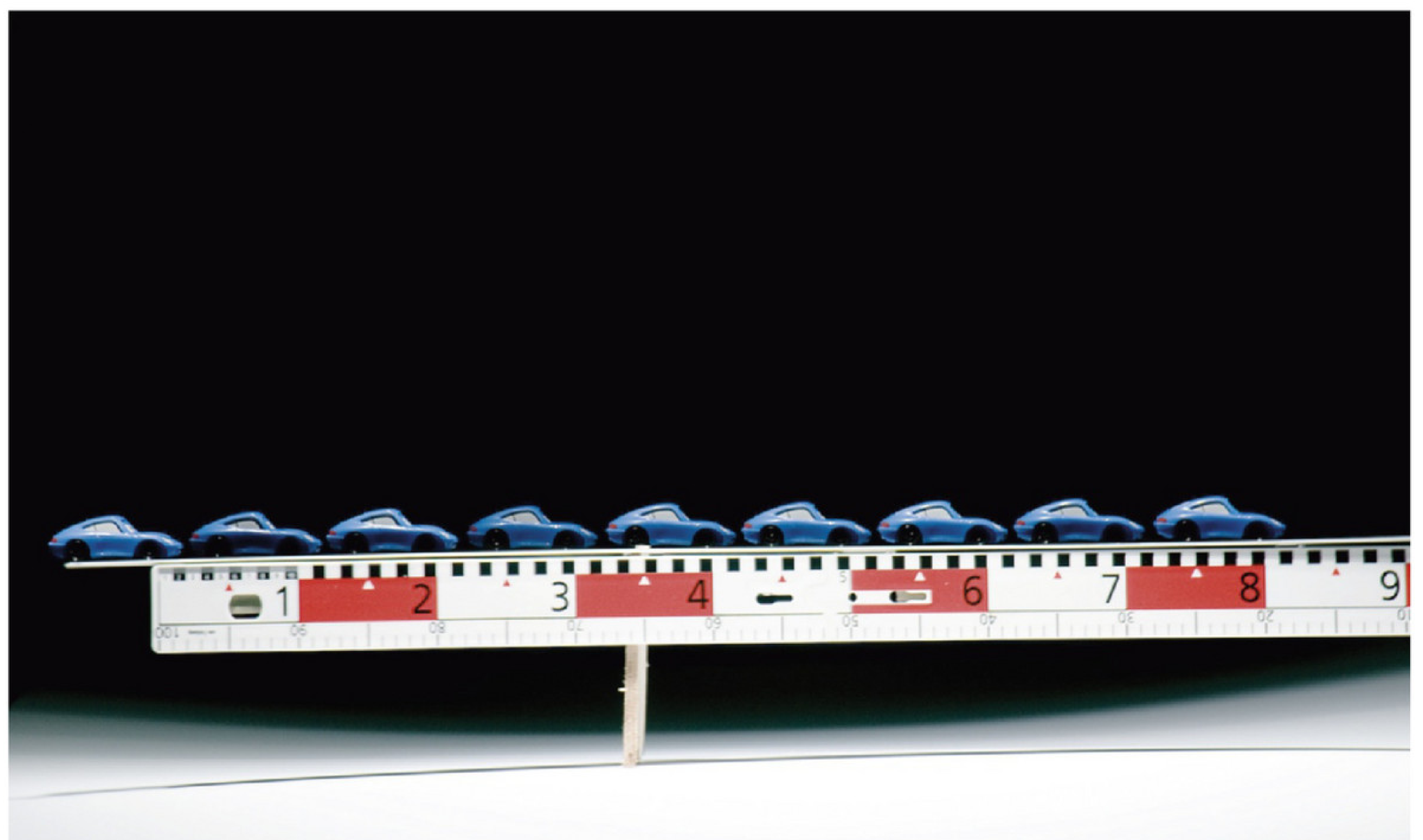
Heleen heeft een stroboscopische foto gemaakt van een speelgoedauto die eenparig beweegt (figuur 21). De tijd tussen twee lichtflitsen was 0,4 s.

Bereken de snelheid van de auto.

gegevens $t = 8 \times 0{,}4 = 3{,}2$ s
$s = 82 - 2 = 80$ cm

gevraagd $v = ?$

uitwerking $v = \frac{s}{t} = \frac{80}{3{,}2} = 25$ cm/s $= 0{,}25$ m/s

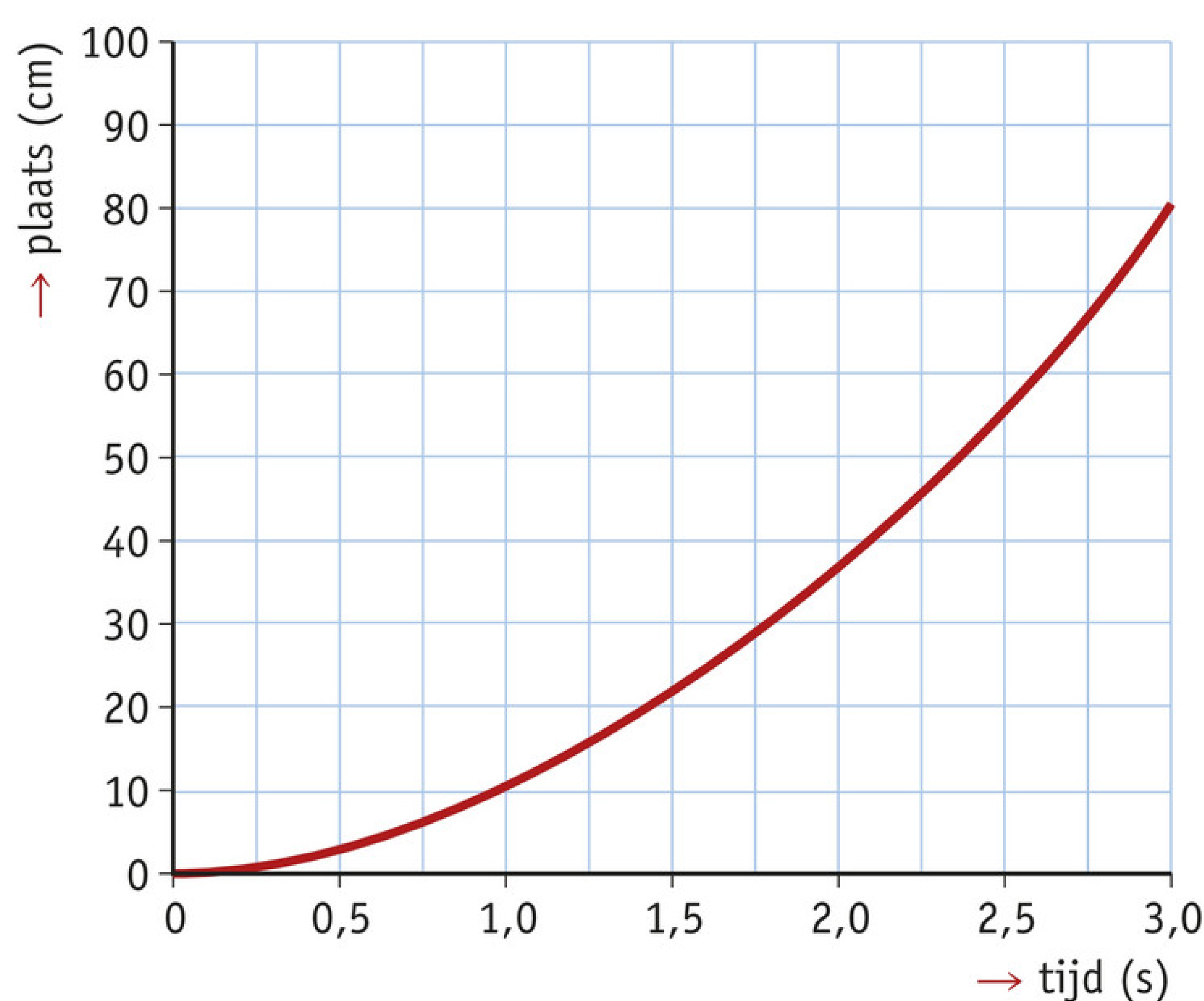


▶ **figuur 21**
een stroboscopische foto van een speelgoedauto

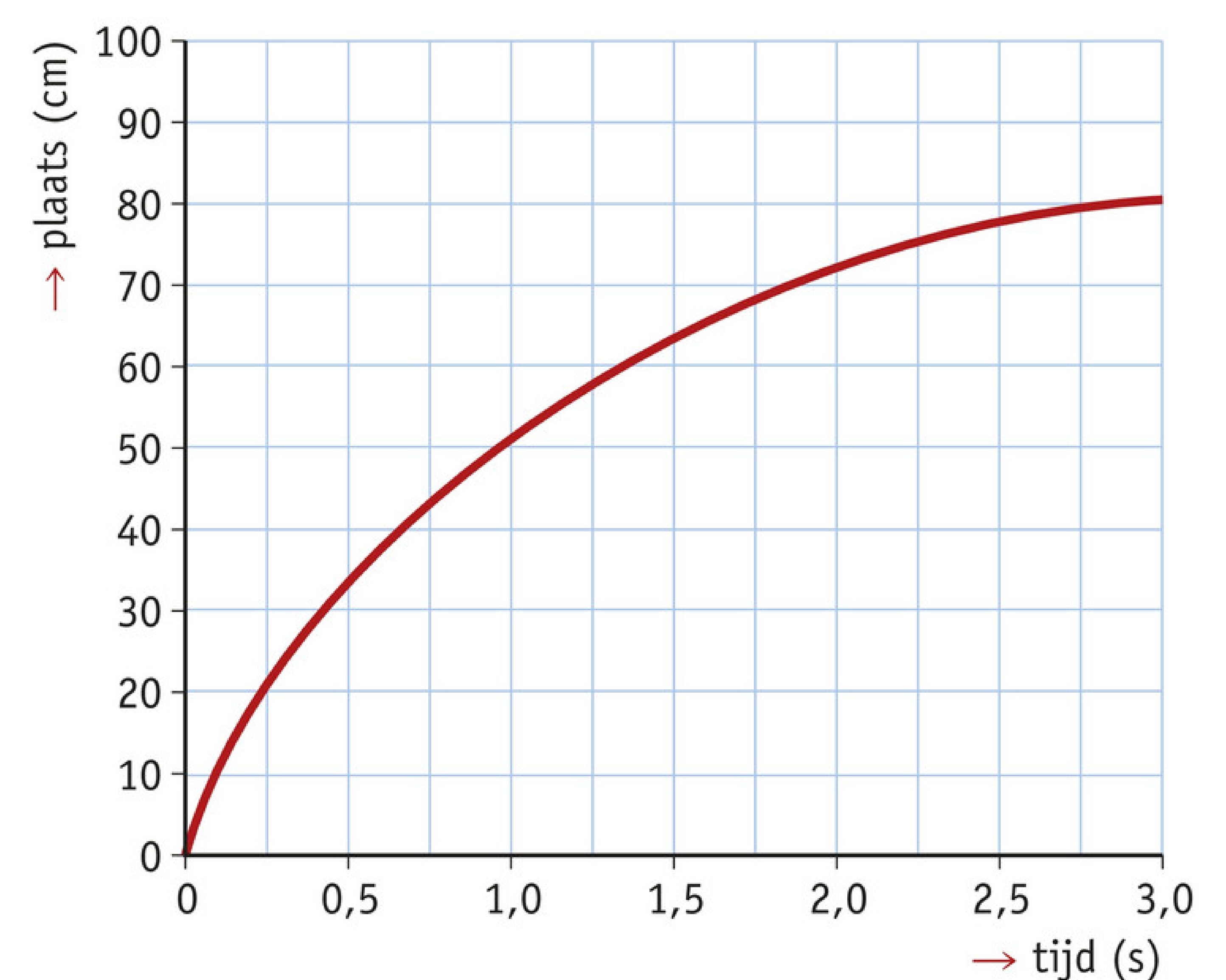
Versnelde en vertraagde bewegingen

Als een voorwerp versneld beweegt, legt het in dezelfde tijd (bijvoorbeeld een seconde) een steeds grotere afstand af. Op een stroboscopische foto zie je dan dat de afstand tussen de opeenvolgende beeldjes steeds groter wordt. Als je het (x,t)-diagram van zo'n beweging tekent, krijg je een gebogen lijn die steeds steiler omhoog loopt (figuur 22).

In figuur 23 is het (x,t)-diagram getekend van een vertraagde beweging. Bij zo'n beweging zie je het omgekeerde als bij een versnelde beweging: de afstand die het voorwerp in een bepaalde tijd aflegt, wordt steeds kleiner. Je kunt dat ook zien in het (x,t)-diagram: de grafiek is een gebogen lijn die steeds minder steil omhoog loopt.



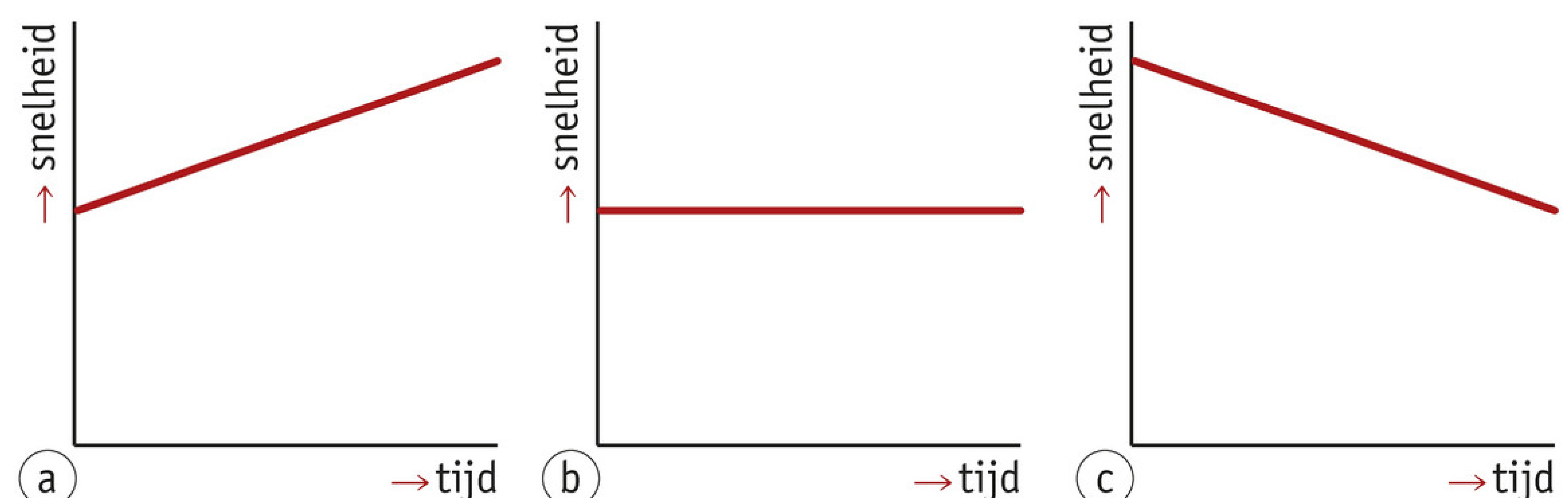
▲ **figuur 22**
het (x,t)-diagram van een versnelde beweging



▲ **figuur 23**
het (x,t)-diagram van een vertraagde beweging

Snelheid-tijddiagrammen

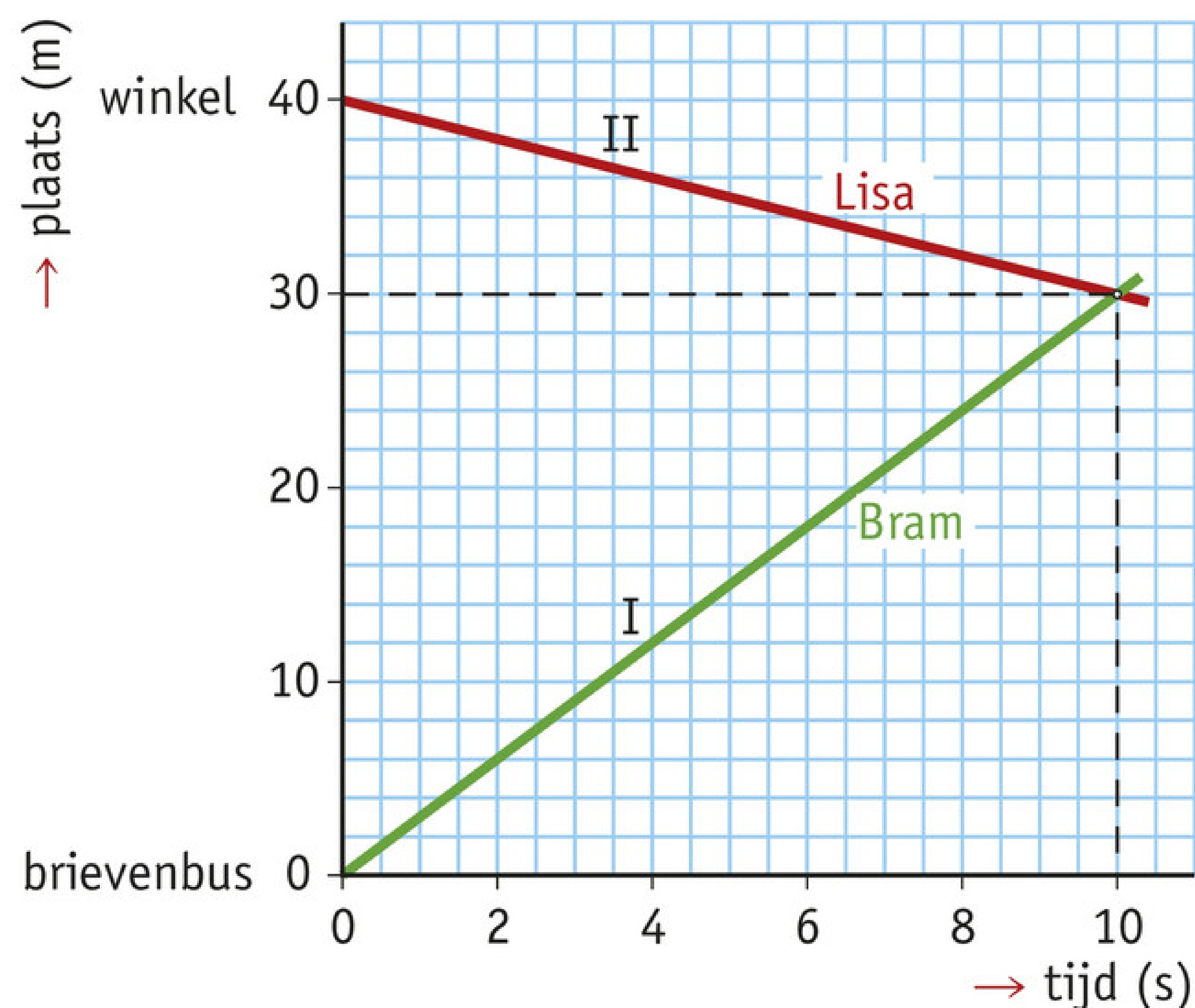
Aan een (v,t)-diagram zie je snel met welke soort beweging je te maken hebt. Als de grafiek stijgt, is er een versnelling en als hij daalt, is er een vertraging. Als de snelheid gelijkmatig toeneemt met de tijd, dan is de grafiek een rechte lijn die schuin omhoog loopt (figuur 24a). De beweging wordt dan **eenparig versneld** genoemd. Bij een eenparige beweging hoort een horizontale grafiek (figuur 24b). Als de snelheid gelijkmatig afneemt heet de beweging **eenparig vertraagd** (figuur 24c).



▶ **figuur 24**
het (v,t)-diagram van een eenparig versnelde (a), een eenparige (b) en een eenparig vertraagde beweging (c)

Tegenkomen en inhalen

Op de meeste wegen heb je verkeer in twee richtingen. Regelmatig kom je iemand tegen die de andere richting op rijdt. Ook word je af en toe door iemand ingehaald. Soms is het handig om dit soort bewegingen in één (x,t)-diagram in te tekenen. Op die manier kun je erachter komen waar en wanneer twee weggebruikers elkaar passeren.



▲ **figuur 25**
het (x,t)-diagram van een ontmoeting

Voorbeeldopgave 5

Bram vertrekt per fiets op t = 0 s vanaf de brievenbus voor zijn huis richting de winkel 40 m verderop. Zijn snelheid is 3,0 m/s. Op hetzelfde moment vertrekt Lisa lopend vanuit de winkel richting Bram. Haar snelheid bedraagt 1,0 m/s. Bram en Lisa bewegen allebei eenparig. Bepaal met behulp van een diagram waar en wanneer ze elkaar ontmoeten.

Lisa en Bram bewegen allebei langs dezelfde weg. In het (x,t)-diagram van figuur 25 zijn hun bewegingen ingetekend. Grafiek I geeft de beweging van Bram weer. Deze begint bij 0 m. Grafiek II geeft de beweging van Lisa weer. Deze begint op 40 m. Het snijpunt van de twee grafieken heeft als coördinaten t = 10 s en x = 30 m. Lisa en Bram ontmoeten elkaar dus op dertig meter van de brievenbus, tien seconden nadat ze zijn gaan bewegen.

Plus Versnellingen op een fiets

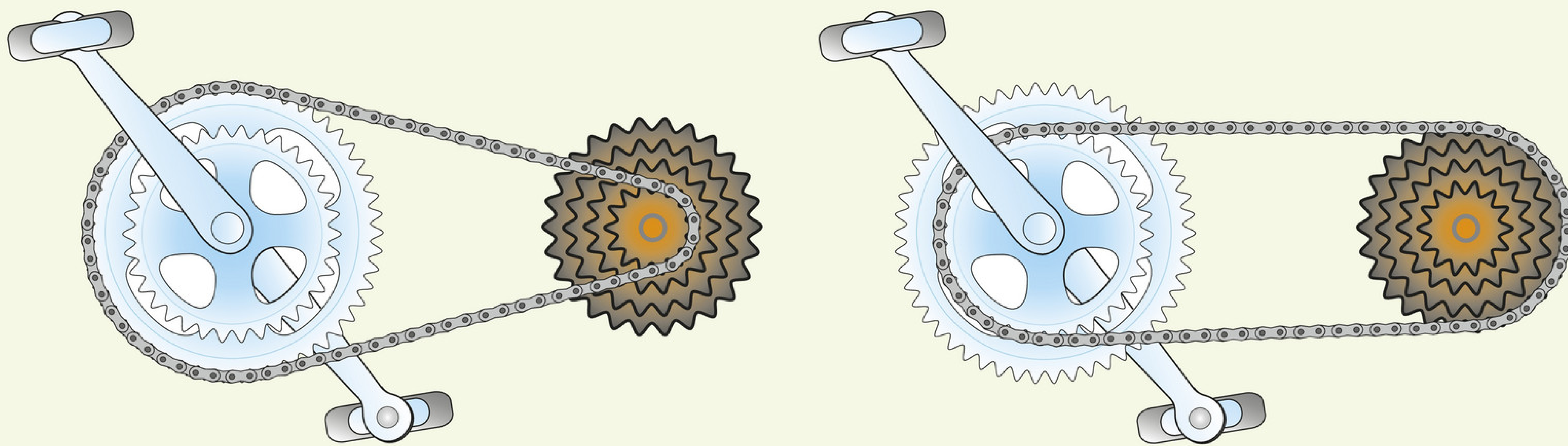
Het woord 'versnelling' heeft drie betekenissen. Ten eerste is er de betekenis van het woord in deze paragraaf: versnelling is de toename van de snelheid. Maar bij het woord versnelling dacht je waarschijnlijk eerder aan het schakelen van bijvoorbeeld de eerste naar de tweede versnelling in een auto of op een fiets. Dat is de tweede betekenis. Over de derde betekenis gaat deze Plus.
In veel auto's en fietsen zitten tandwielen tussen de motor of de trappers en de aangedreven wielen. Als je schakelt in zo'n auto of fiets, dan schakel je van het ene naar het andere tandwiel.
Een fiets heeft een tandwiel bij de trappers, het voorblad. Verder heeft een fiets een of meer tandwielen bij de as van het achterwiel, de achterbladen. Bij racefietsen zie je die bladen duidelijk zitten: het voorblad is vrij groot en de achterbladen hebben verschillende groottes maar zijn altijd kleiner dan het voorblad (figuur 26). Met een zogenaamde derailleur kun je de ketting van het ene tandwiel naar het andere verplaatsen.

▼ **figuur 26**
de voor- en achterbladen van een racefiets



Bij een fiets wordt de term **versnelling** als volgt gedefinieerd: versnelling = het aantal keren dat het achterblad ronddraait als het voorblad één keer ronddraait. Dit is dus de derde betekenis van het woord versnelling. Stel, het voorblad heeft 52 tanden, en het gebruikte achterblad heeft er 13. Dan heeft het voorblad dus vier keer zoveel tanden als het achterblad. Als het voorblad dan één keer ronddraait, zal het achterblad vier keer ronddraaien. Dan is de versnelling gelijk aan 4. Hoe groter de versnelling, hoe meer de fiets vooruitgaat bij één rondje van de trappers. De afstand die de fiets dan aflegt heet het **verzet** (figuur 27). Als de omtrek van het achterwiel 2 m is en de gekozen versnelling is 4, dan is het verzet 2 × 4 = 8 m.

▼ **figuur 27**
een zwaar verzet (links) en een licht verzet (rechts)



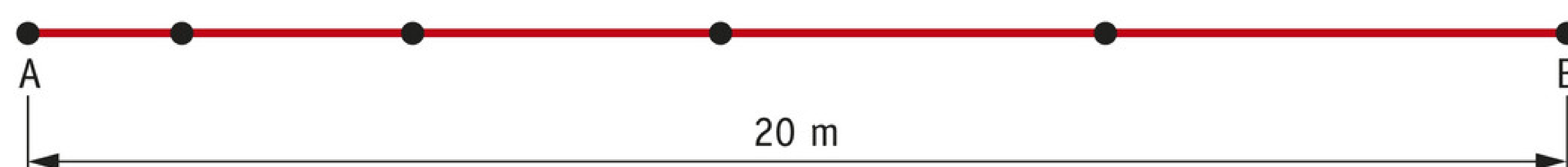
opgaven

25 Hoe noem je een beweging:
- **a** waarbij de snelheid steeds kleiner wordt?
- **b** waarbij de snelheid niet verandert?

26 In deze paragraaf zijn drie bewegingen beschreven.
- **a** Schets de (x,t)-diagrammen van deze bewegingen. Je hoeft er geen getallen bij te zetten, maar je moet wel aangeven wat er langs de x-as en y-as staat.
- **b** Schrijf bij elk diagram om wat voor beweging het gaat.
- **c** Wanneer noem je een versnelde beweging een eenparig versnelde beweging?

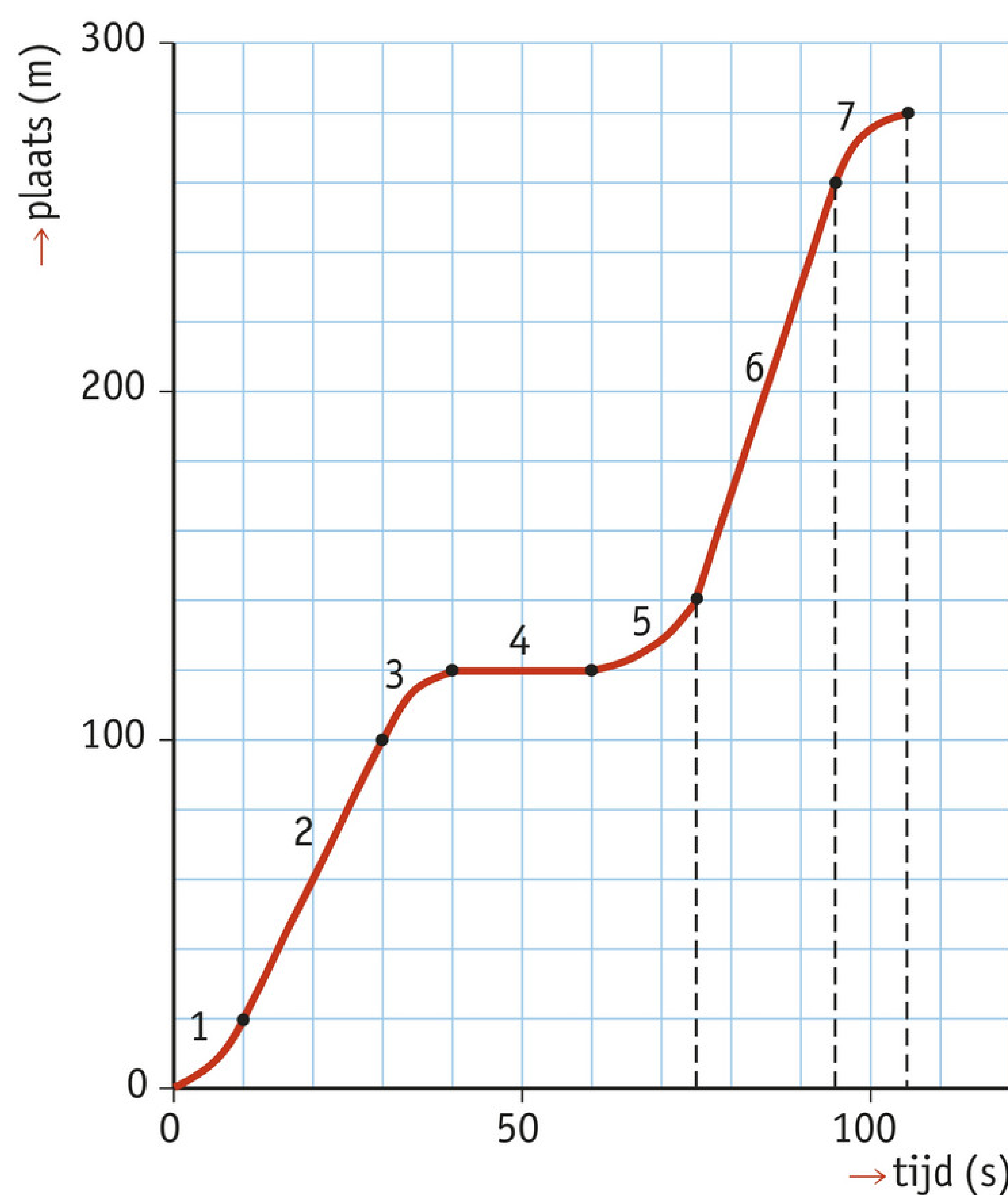
27 Een scooter lekt elke seconde een druppel olie. In figuur 28 zie je een deel van het oliespoor op de weg. De afstand tussen A en B bedraagt 20 meter.
- **a** Waaraan zie je dat de scooter tussen A en B versneld beweegt?
- **b** Bereken de gemiddelde snelheid van de scooter tussen A en B.

▶ **figuur 28**
een oliespoor



28 Romy fietst van huis naar school. In figuur 29 zie je het (x,t)-diagram van haar beweging.
Welk gedeelte van het diagram hoort bij elk van de volgende omschrijvingen?

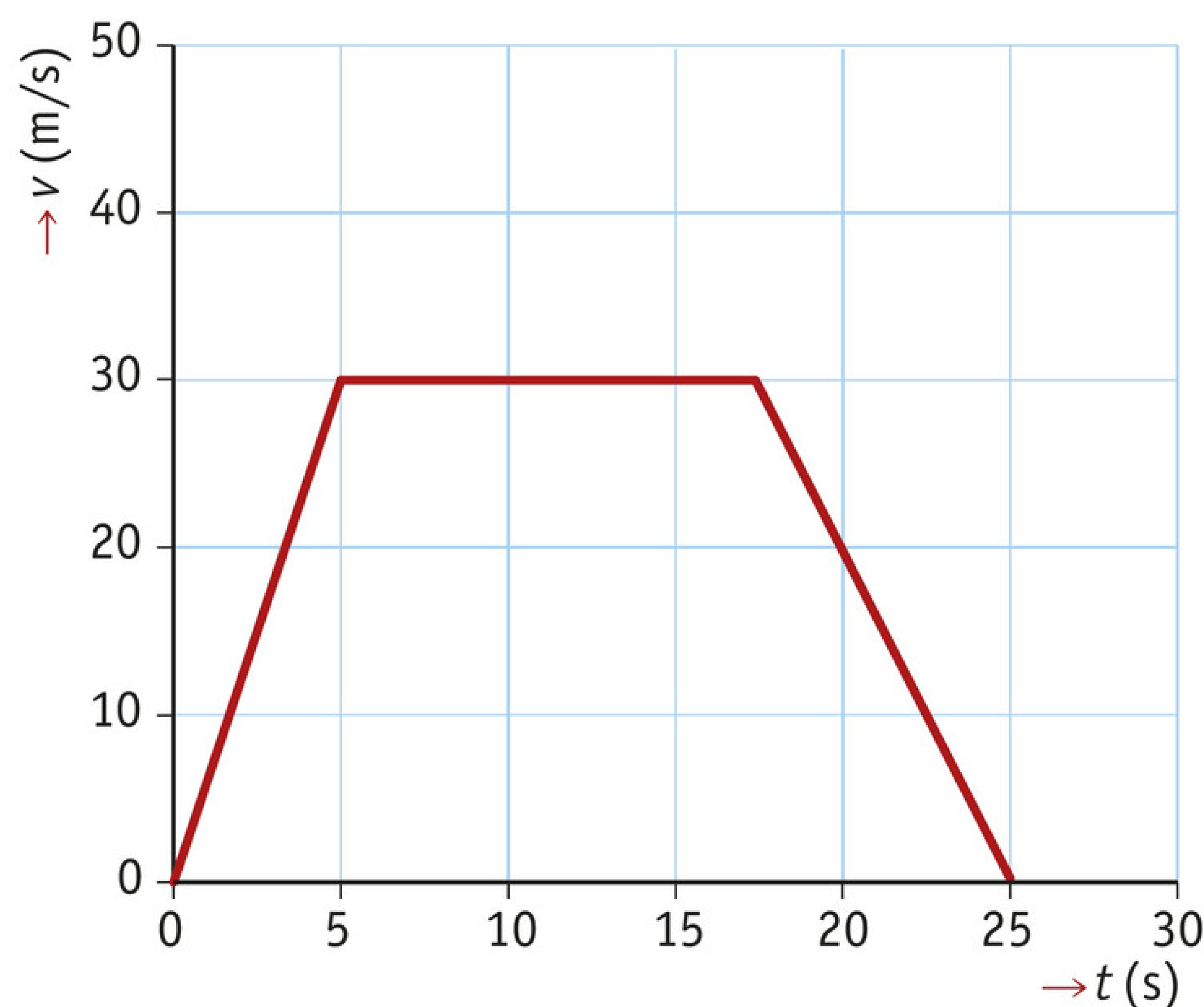
a Ze staat stil voor een rood verkeerslicht.
b Ze rijdt met een constante snelheid van 4,0 m/s.
c Ze remt af als een verkeerslicht op rood springt.
d Ze stapt op de fiets en vertrekt van huis.
e Ze rijdt met een constante snelheid van 6,0 m/s.
f Ze rijdt weg als het verkeerslicht op groen springt.
g Ze remt en stapt af als ze bij school aankomt.



▶ **figuur 29**
het (x,t)-diagram van Romy

***29** In figuur 30 zie je het (v,t)-diagram van een ritje met een auto.

a Tussen welke tijdstippen reed de auto eenparig versneld?
b Hoe lang duurde de eenparige beweging?
c Bereken de afgelegde afstand van de auto.



▶ **figuur 30**
het (v,t)-diagram van een autorit

30 Bij deze opgave heb je werkblad 6-1 nodig.
Kim en Amber zitten bij elkaar in de klas. Kim komt voorbij Ambers huis als ze naar school fietst. Op het werkblad is het (x,t)-diagram getekend van de rit van Kim en Amber naar school.

a Op hoeveel meter van Kim start Amber?
b Wie fietst het snelst? Waaraan zie je dat?
c Bereken de snelheid van beide scholieren.
d Kim en Amber rijden met dezelfde snelheid verder, totdat de een de ander inhaalt.
Teken hun bewegingen in op het werkblad.
e Zet een stip met de letter S op de plaats waar Kim en Amber elkaar ontmoeten.
f Na hoeveel minuten gebeurt dat?

***31** Bij deze opgave heb je werkblad 6-2 nodig.
Robin en Lotte maken een toertocht op hun motoren. Robin staat voor een verkeerslicht te wachten, als Lotte aan komt rijden. Als het verkeerslicht op groen springt, trekt Robin op. Op hetzelfde moment passeert Lotte hem op haar motor. Lotte heeft op dat moment een constante snelheid van 54 km/h.

a Teken op het werkblad de grafiek van Lotte's beweging.
b Op welk tijdstip zal Lotte Robin passeren?
c Op hoeveel meter van het verkeerslicht is dat?

Plus Versnellingen op een fiets

32 Je maakt je crossfiets klaar voor een wedstrijd. Je kiest voor het achterblad met 13 tanden. Voor het voorblad kun je kiezen uit een tandwiel met 42, 46, 52 of 65 tanden.

a Welk tandwiel kies je om zo snel mogelijk op te kunnen trekken? Licht je antwoord toe.
b Bereken de verhouding tussen het aantal tanden van het bij a gekozen tandwiel en het achterblad.
c Bereken de versnelling.
d Bereken de versnelling bij het voorblad met 46 tanden.

33 Het voorblad van een fiets heeft 52 tanden en het achterblad heeft 15 tanden. De omtrek van het achterwiel is 2,18 meter.

a Bereken de versnelling van de fiets.
b Bereken het verzet van de fiets.

34 Als de versnelling veel groter is dan 1, dan spreek je van een 'zwaar verzet'.

a Wanneer moet je de meeste kracht uitoefenen met je benen, bij een zwaar of bij een licht verzet?
b Je maakt tijdens de zomervakantie een fietstocht door de Franse Alpen. Je rijdt een flinke berg op.
Welk verzet moet je kiezen? Het lichtste of het zwaarste? Licht je antwoord toe.

4 Remmen en botsen

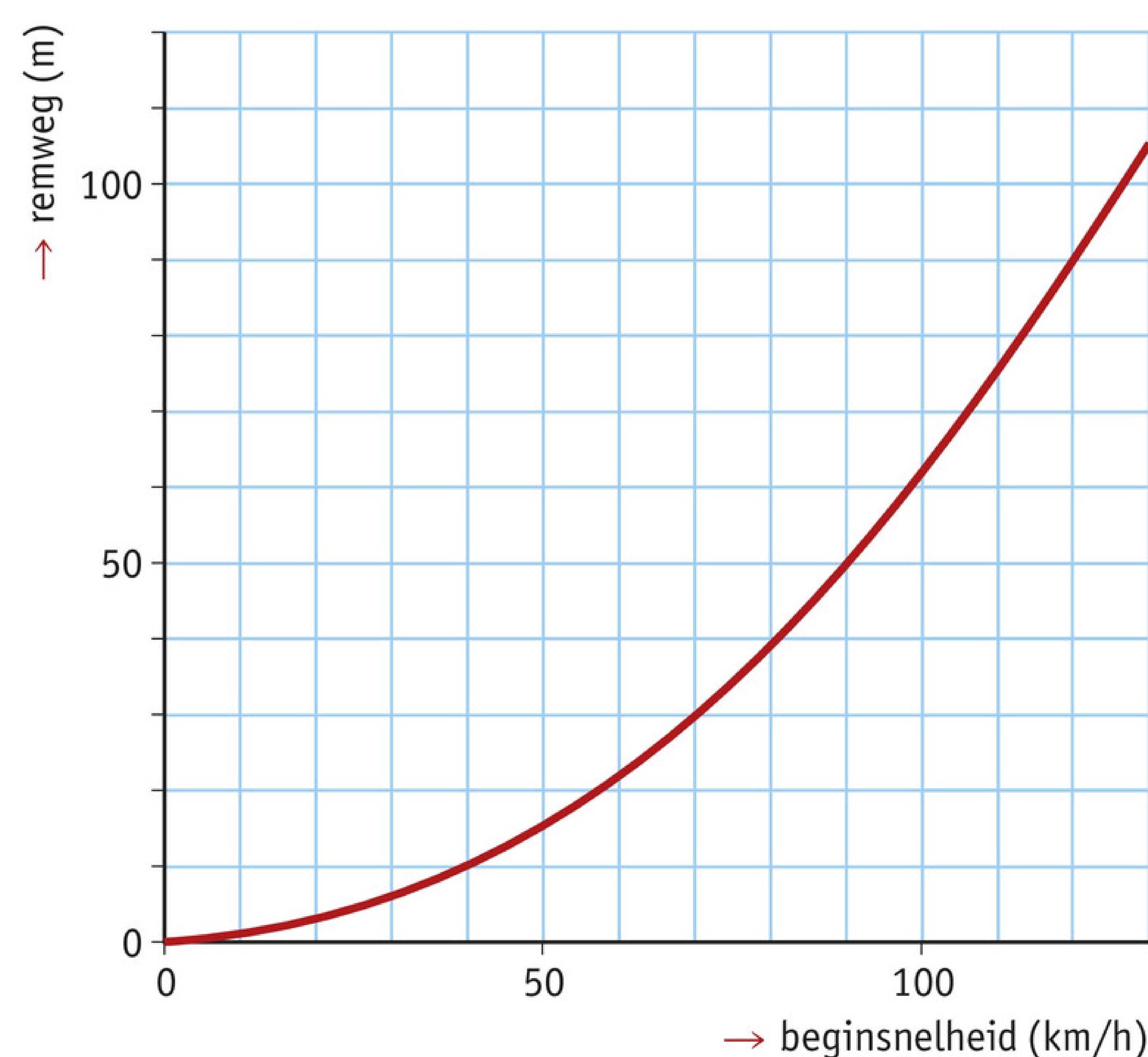
Je moet als automobilist altijd rekening houden met het verkeer om je heen. In geval van nood moet je tijdig kunnen stoppen, ook als de weg glad is en je auto zwaar beladen. Een goede automobilist neemt daarom snelheid terug en houdt meer afstand tot voorliggers als de situatie daarom vraagt.

De remweg

Als de automobilist het gaspedaal loslaat en het rempedaal intrapt, beweegt de auto vertraagd verder tot hij stilstaat. De afstand die hij dan aflegt heet de **remweg**. Hoe langer de remweg, des te groter de kans op een ongeluk.
Hoe lang de remweg is, hangt af van drie dingen:
1 *de beginsnelheid*
De **beginsnelheid** is de snelheid op het moment dat de auto begint te remmen. Hoe groter de beginsnelheid, des te langer de remweg.
2 *de (totale) massa van de auto*
Hoe groter de massa van een auto, des te langer de remweg. Een volgeladen vrachtwagen heeft een langere remweg dan een lege.
3 *de remkracht*
Hoe harder je op het rempedaal trapt, des te groter de remkracht en des te korter de remweg (zo lang de auto niet begint te slippen).

De remweg en de beginsnelheid

In figuur 31 kun je zien hoe de remweg van een personenauto afhangt van de beginsnelheid. De gegevens in de grafiek zijn afkomstig van remproeven. Bij deze proeven is steeds dezelfde auto gebruikt. Ook is steeds even hard geremd. Alleen de beginsnelheid was elke keer anders.



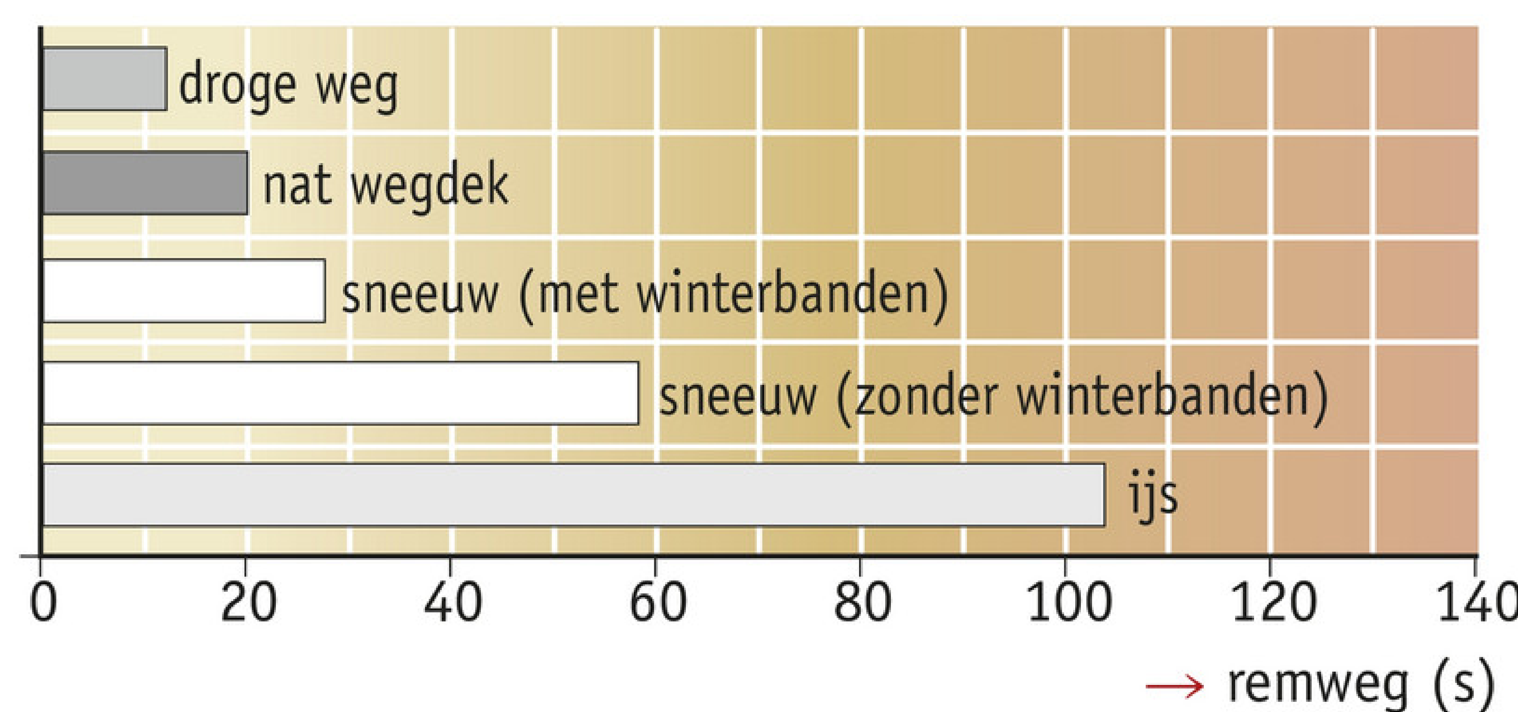
▶ **figuur 31**
remweg en beginsnelheid

Uit de grafiek blijkt dat de remweg snel toeneemt als de snelheid van de auto groter wordt. Om precies te zijn:

Als de snelheid *n* keer zo groot wordt, wordt de remweg n^2 keer zo lang.

Als de snelheid verdubbelt van 40 naar 80 km/h, wordt de remweg 4 × (2^2) zo lang: van 10 m bij 40 km/h naar 40 m bij 80 km/h.

De grafiek in figuur 31 geldt voor normale omstandigheden: goede remmen en banden, een normaal wegdek en droog weer. Als de remmen versleten zijn of het wegdek is glad door sneeuw of ijzel, remt de auto minder af. De remweg is dan langer, soms zelfs veel langer (figuur 32).



▶ **figuur 32**
de remweg van een auto onder verschillende weersomstandigheden

Voorbeeldopgave 6
Een auto heeft bij een snelheid van 40 km/h een remweg van 10 m.
Bereken de remweg bij een snelheid van 120 km/h.

gegevens
v_1 = 40 km/h
v_2 = 120 km/h
s_1 (de remweg bij snelheid v_1) = 10 m

gevraagd
s_2 = ?

uitwerking
v_2 is 3× zo groot als v_1, dus n = 3
s_2 is dus $n^2 = 3^2$ = 9× zo lang als s_1
De remweg s_2 is dus 9 × 10 = 90 m.



▲ **figuur 33**
Met iemand achterop is de massa groter en de remweg dus langer.

De massa en de remweg

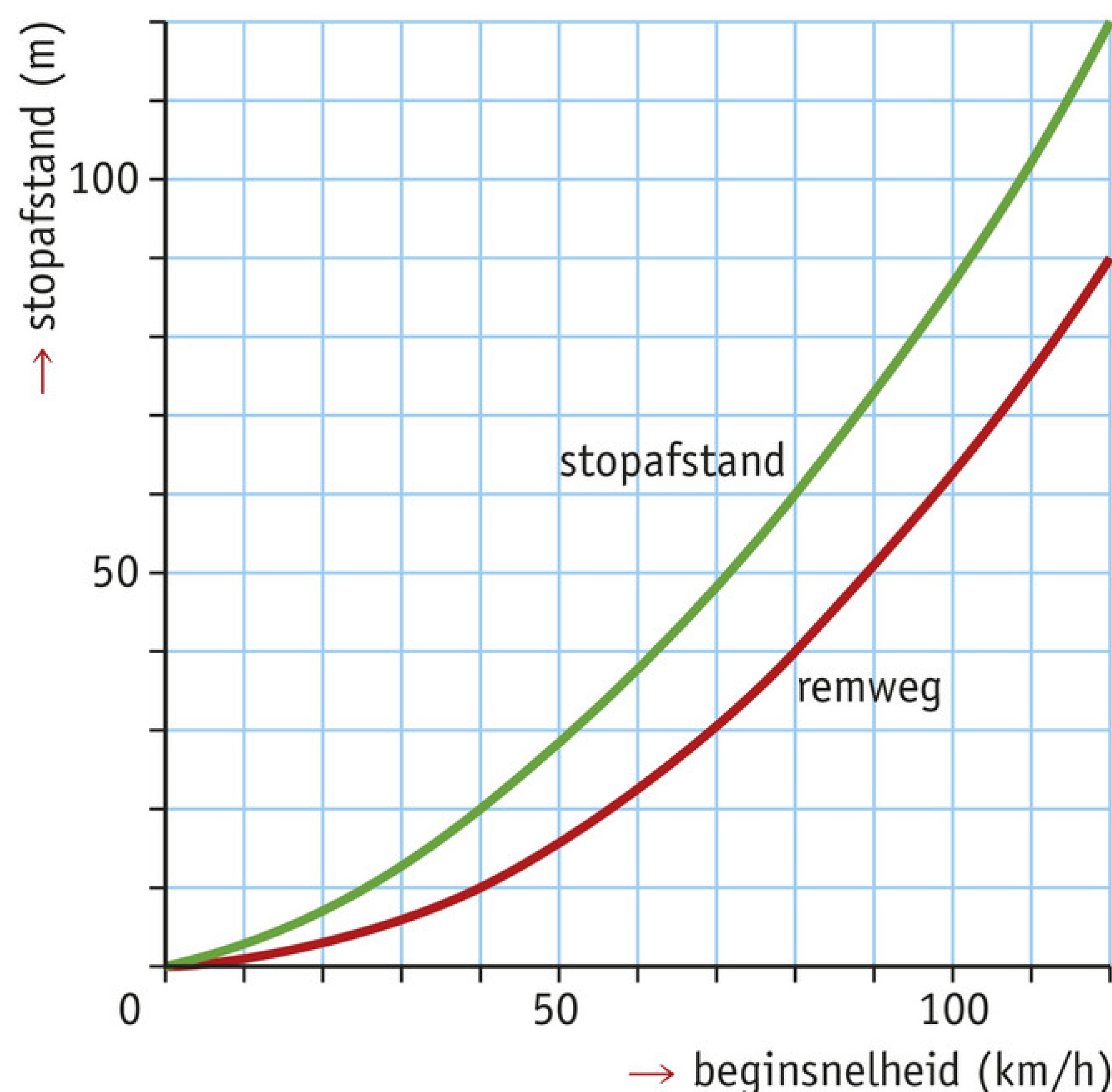
Behalve de (begin)snelheid heeft ook de massa invloed op de remweg. Hoe zwaarder een auto of een fiets beladen is, hoe langer de remweg wordt. Dat merk je bijvoorbeeld als je iemand meeneemt achterop je fiets. Dan duurt het langer voor je stilstaat, ook al rem je even hard als anders (figuur 33).

Veel mensen gaan zomers met een zwaar beladen auto op vakantie. De remweg van hun auto is dan langer dan ze gewend zijn. Met een zwaar beladen auto moet je op de snelweg daarom meer afstand houden. Bij regen en sneeuw moet je die afstand nog groter maken.

De reactietijd Proef 3

Als een kind voor een auto de weg op rent, zal de bestuurder afremmen. Maar de bestuurder reageert niet meteen: het duurt altijd even voordat hij het rempedaal intrapt en de remmen in werking treden. De tijd tussen het zien van het gevaar en het in werking treden van de remmen wordt de **reactietijd** genoemd.

De reactietijd ligt normaal gesproken tussen 0,7 en 1,0 s. Maar als je niet oplet of moe bent, reageer je een stuk langzamer. Het gebruik van alcohol, drugs en sommige medicijnen maakt je reactietijd ook langer.



▲ **figuur 34**
De stopafstand is groter dan de remweg.

De totale afstand die een auto nodig heeft om te stoppen – de **stopafstand** – is daarom groter dan de remweg. Je moet namelijk ook de afstand meerekenen die de auto tijdens de reactietijd aflegt: de **reactieafstand** (figuur 34). Met andere woorden:

stopafstand = reactieafstand + remweg

Voorbeeldopgave 7

Justine rijdt met 45 km/h over een lokale weg als ze plotseling moet remmen voor een hond die de weg op rent. Haar reactietijd is 0,8 s. Bepaal hoe groot de stopafstand is. Je kunt de remweg bij die snelheid aflezen uit figuur 31.

gegevens	over de reactieafstand: v = 45 km/h = 12,5 m/s t = 0,8 s over de remweg: volgens figuur 31 is de remweg 12 m (bij 45 km/h).
gevraagd	stopafstand = ?
uitwerking	reactieafstand: $s = v \times t = 12{,}5 \times 0{,}8 = 10$ m stopafstand = reactieafstand + remweg = 10 + 12 = 22 m

Bescherming tegen botsingen

Als een auto ergens tegenaan botst, staat hij vrijwel meteen stil. De 'remweg' bij een botsing is heel kort en de klap die de inzittenden krijgen is groot. Om de inzittenden te beschermen, moet de 'remweg' van de inzittenden bij een botsing zo lang mogelijk gemaakt worden. Daar wordt op verschillende manieren voor gezorgd.



▲ **figuur 35**
De kreukelzone wordt in elkaar gedrukt, de kooiconstructie vervormt nauwelijks.

Auto's worden zo gemaakt dat bij een botsing de voorkant van de auto in elkaar schuift. Je noemt die voorkant de **kreukelzone** van de auto. Daardoor wordt de 'remweg' die de inzittenden afleggen, enkele tientallen centimeters langer. De inzittenden zitten dan veilig in de **kooiconstructie**: het gedeelte van de auto dat niet gemakkelijk vervormt (figuur 35).

Veiligheidsgordels zorgen ervoor dat de inzittenden tegelijk met de auto afremmen. Zonder veiligheidsgordel zou de bestuurder bijvoorbeeld pas afremmen als hij met zijn hoofd tegen de voorruit slaat. Daarnaast rekken de gordels een eindje uit als de auto botst. Ook daardoor wordt de 'remweg' van de inzittenden langer. Een **airbag** heeft dezelfde functie als een veiligheidsgordel, maar geeft nog beter mee (waardoor de 'remweg' nog langer wordt).

Plus De remmentest

In Nederland moeten alle auto's ouder dan drie jaar regelmatig worden gekeurd. Die keuring heet de APK. Tijdens de keuring meten de monteurs de remvertraging van de auto. De **remvertraging** geeft aan met hoeveel m/s de snelheid van de auto per seconde afneemt als de rem wordt ingetrapt. De eenheid van vertraging, en ook van versnelling, is dus m/s per s, ofwel 'meter per seconde kwadraat', afgekort m/s^2. Volgens de APK-regels moet een auto een remvertraging van 5,2 m/s^2 hebben. Dat wil zeggen: elke seconde moet zijn snelheid bij het remmen afnemen met 5,2 m/s. Voor een auto die 100 km/h rijdt, betekent dit dat hij binnen 5,3 s stil moet staan.



▲ **figuur 36**
een remmentest met een rollenbank

De remvertraging kan op verschillende manieren worden getest, onder andere met een rollenbank en een platenbank.
In figuur 36 zie je een auto op een rollenbank. De politie gebruikt een kleinere, mobiele, uitvoering van zo'n rollenbank voor het testen van scooters. De wielen van de auto draaien rond, maar de auto komt niet vooruit. Als de auto remt, wordt met meetapparatuur in de rollenbank gemeten hoe snel er wordt afgeremd. De test met de rollenbank is niet zo realistisch. Dat komt omdat een auto in werkelijkheid tijdens het remmen naar voren duikt. Daardoor worden de voorwielen steviger op het wegdek gedrukt en neemt de remkracht daar toe. De auto remt dan beter af. Op de rollenbank duikt de auto niet naar voren. Bovendien kunnen de remmen van een auto niet bij hoge snelheden getest worden.



▲ **figuur 37**
een remmentest met een platenbank

Bij een remmentest op een platenbank duikt de auto bij het remmen wel naar voren. De platenbank geeft een beter beeld van de remkracht van een auto, maar ook een platenbank kan niet meten bij een hoge snelheid.

opgaven

35 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Van welke drie factoren hangt de lengte van de remweg van een auto af?
- **b** Welk verband bestaat er tussen de snelheid van een auto en zijn remweg?
- **c** Hoe verandert de remweg van je fiets wanneer je iemand meeneemt achterop?
- **d** Door welke oorzaken kan iemands reactietijd langer zijn dan normaal?

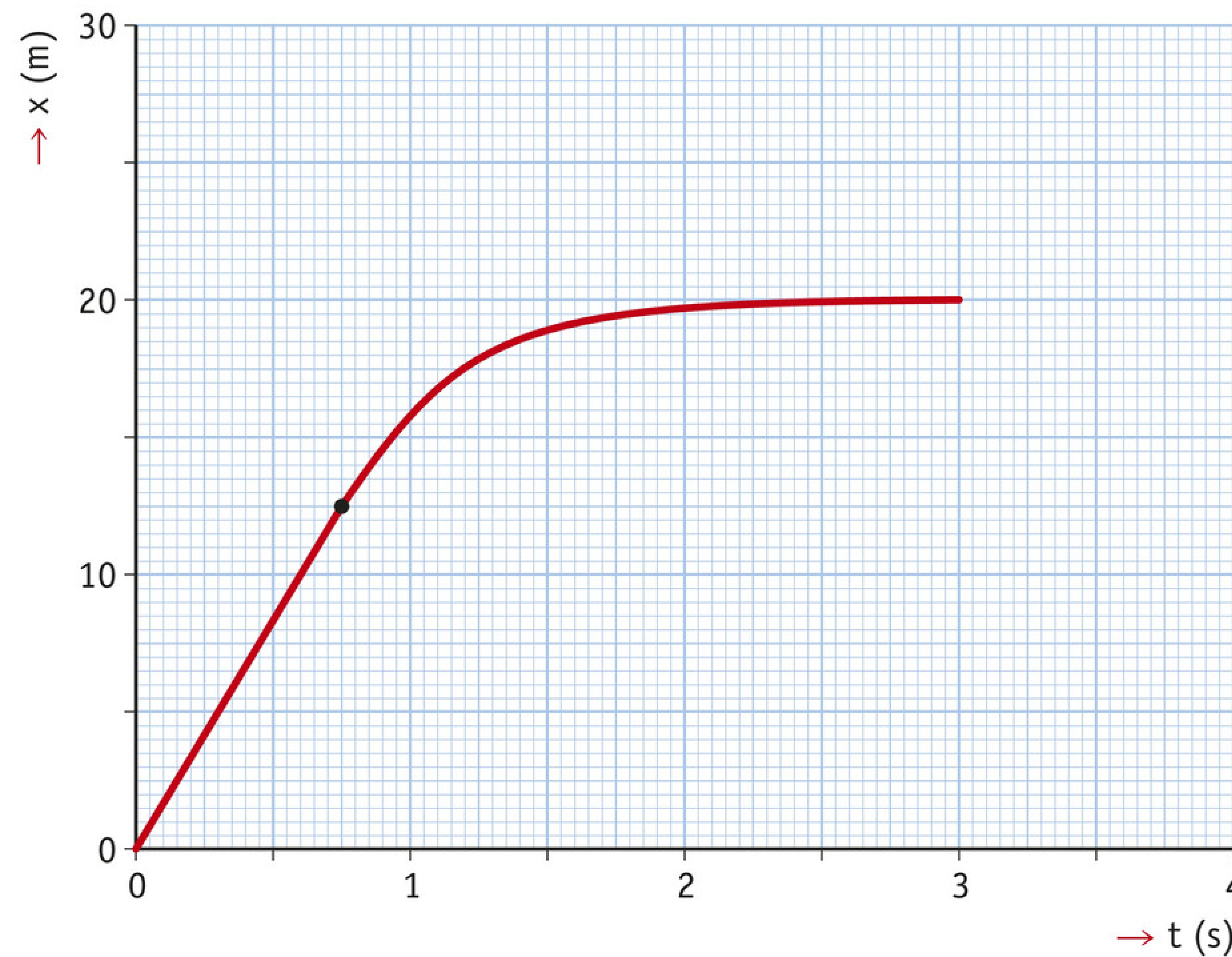
36 Als een automobilist ziet dat hij moet stoppen, remt de auto niet meteen af.
- **a** Hoe noem je de tijd tussen het zien van het gevaar en het aanslaan van de remmen?
- **b** Hoe noem je de afstand die de auto in die tijd aflegt?
- **c** Hoe noem je de afstand die de auto tijdens het remmen aflegt, tot hij stilstaat?
- **d** Hoe kun je de stopafstand berekenen?

37 Langs de kant van een weg kom je af en toe een bord tegen waarop staat dat het wegdek vernieuwd is.
Waarom wil men dit aan de weggebruikers melden?

38 Een personenauto rijdt 120 km/h. De omstandigheden zijn normaal.
- **a** Lees uit figuur 31 af hoe groot de remweg is bij deze snelheid.
- **b** De bestuurder van de auto heeft een reactietijd van 0,8 s.
  Bereken zijn reactieafstand bij 120 km/h.
- **c** Bereken de stopafstand.

***39** Een automobilist rijdt in de bebouwde kom 40 km/h. Plotseling ziet hij 22 m voor zijn auto een kind oversteken. Zijn reactietijd is 0,9 s en de remweg is 12 m bij 40 km/h.
- **a** Laat met een berekening zien dat er net geen botsing tussen auto en kind optreedt.
- **b** Bij welke afstand tussen auto en kind was het nog net goed gegaan bij een snelheid van 80 km/h?

40 In figuur 38 is het (x,t)-diagram getekend van een auto die plotseling moet stoppen voor een overstekende hond. Op tijdstip $t = 0$ kwam de hond de straat op en zag de automobilist dat er gevaar dreigde. De reactietijd bedraagt 0,75 s.
- **a** Bereken met behulp van het diagram de beginsnelheid van de auto.
- **b** Op welk tijdstip begon de automobilist te remmen? Leg uit hoe je dat weet.
- **c** Bepaal met behulp van het diagram de stopafstand.
- **d** Bereken de remweg.



▶ **figuur 38**
het (x,t)-diagram van een remmende auto

***41** De overheid adviseert automobilisten om op doorgaande wegen 'minstens twee seconden afstand te houden'. Een automobilist kan dat controleren door de afstand te bekijken die hij in twee seconden aflegt.

a Twee auto's rijden met een constante snelheid van 130 km/h op de snelweg achter elkaar aan. De achterste bestuurder houdt zich exact aan de '2 secondenregel'.
Bereken de afstand tussen de twee auto's.

b Waarom drukt de overheid de afstand uit in seconden en niet in meters?

c Sommige rij-instructeurs gebruiken een andere regel: de veilige afstand in meters is de helft van de snelheid in km/h.
Bereken de afstand tussen de twee auto's volgens deze regel.

d Geeft de regel van de overheid altijd een veiliger afstand dan de regel van de rij-instructeurs, of is dat afhankelijk van de snelheid waarmee de auto rijdt?

***42** In steeds meer steden worden 30 km-zones ingesteld.

a Een automobilist heeft een reactietijd van 1,0 s.
Bereken de reactieafstand als hij 30 km/h rijdt.

b Zijn auto heeft bij 30 km/h een remweg van 5,3 m.
Bereken de stopafstand bij 30 km/h.

c Bereken de stopafstand bij 50 km/h. Schrijf je hele berekening op.

d De automobilist rijdt 30 km/h als hij een fietser ziet aankomen uit een zijweg van rechts. Hij staat net op tijd stil en geeft de fietser voorrang.
Met welke snelheid was de automobilist voorbij de zijweg gereden als hij 50 km/h reed toen hij de fietser zag? Schrijf precies op hoe je aan je antwoord komt.

43 Bij een botsing wordt de voorkant van een auto 50 cm ingedrukt. De veiligheidsgordel van de chauffeur rekt uit, zodat hij 30 cm naar voren schuift.

a Hoe groot is de 'remweg' van de chauffeur?

b Leg uit waarom de chauffeur veel ernstiger gewond zal zijn als hij geen gordel draagt. Gebruik daarbij het woord remweg.

***44** Op een snelweg remt een auto af van 120 km/h naar 100 km/h. Bij 120 km/h is de remweg van de auto ongeveer 90 m.
Bereken hoeveel meter korter de remweg is bij 100 km/h.

Plus De remmentest

45 Volgens de APK-regels moeten auto's een minimale remvertraging hebben.

a Wat wordt bedoeld met 'remvertraging'?

b Waarom zegt de overheid niet: "Auto's moeten altijd binnen x meter tot stilstand komen bij het remmen"?

46 De remmen van auto's kunnen getest worden met een rollenbank en een platenbank.

a Welk zelfde nadeel hebben beide methodes?

b Welk voordeel heeft de platenbank boven de rollenbank?

***47** In de tekst staat dat bij een remvertraging van 5,2 m/s^2 een auto die 100 km/h rijdt, binnen 5,3 s stilstaat.

a Reken de snelheid om naar m/s.

b Laat met een berekening zien dat de uitspraak klopt.

c Stel dat de overheid gaat eisen dat een auto bij een snelheid van 100 km/h binnen 4,5 s stil moet staan.
Bereken de remvertraging die de auto dan minimaal moet hebben.

Practicum

Proef 1 Bewegingen bestuderen 45 min

Inleiding
Als je een beweging wilt bestuderen, begin je ermee de beweging vast te leggen. Je gaat na waar het bewegende voorwerp is op een aantal opeenvolgende tijdstippen. Na afloop kun je de gegevens op verschillende manieren verwerken.

Doel
Je gaat van vijf bewegingen de plaats en tijd vastleggen. Daarna verwerk je de gegevens tot een plaats-tijddiagram.

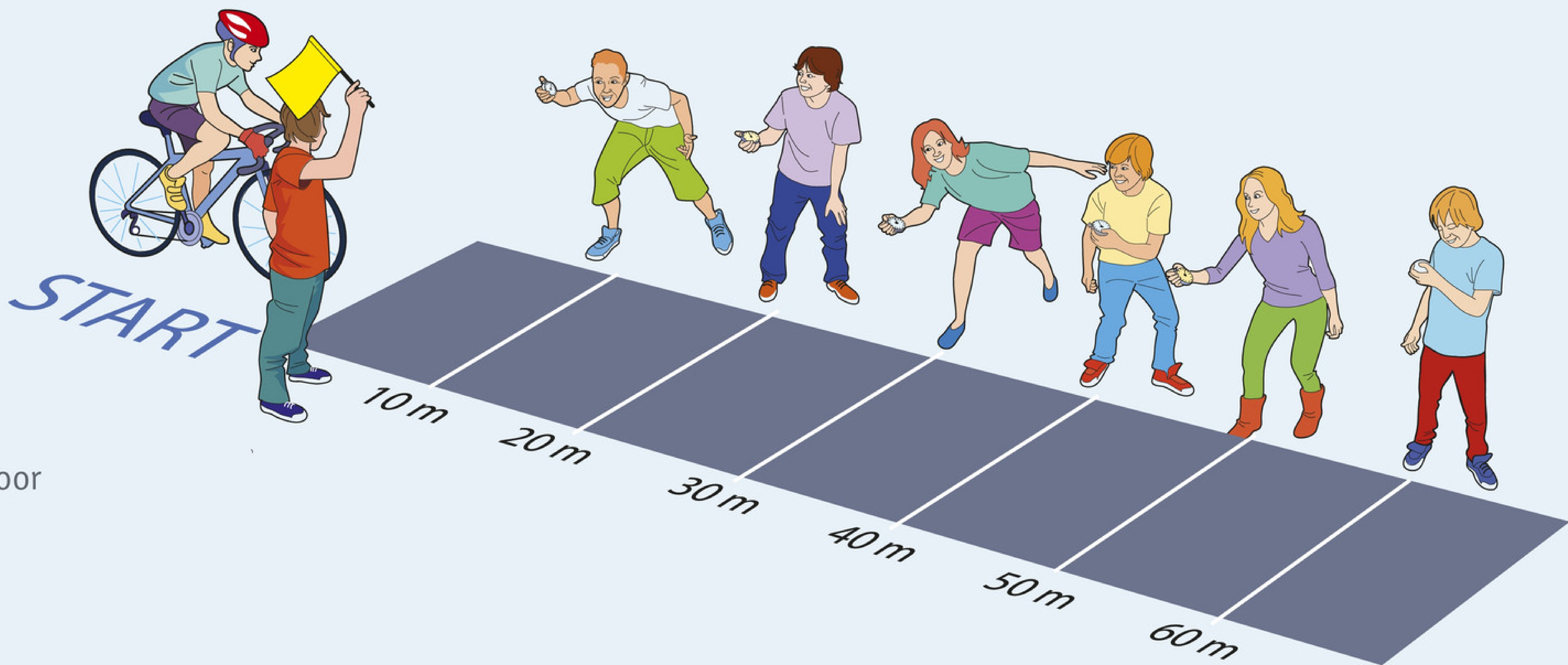
Nodig
- zes tot tien stopwatches
- startvlag
- krijtje
- touw van 10 meter
- fiets
- werkblad 6-3

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Op een geschikte plaats is een baan van 60 tot 100 meter uitgezet, met om de 10 meter een krijtlijn (figuur 40).
- Bij de start gaat één leerling staan met de startvlag. Bij elke 10-meterlijn gaat één leerling staan met een stopwatch.

Uitvoeren
Elke keer wordt er als volgt gemeten:
- De starter zwaait de startvlag naar beneden om de beweging te laten starten. Op hetzelfde moment worden alle stopwatches gestart.
- Op het moment dat de wandelaar/sprinter/fietser een 10-meterlijn passeert, wordt de bijbehorende stopwatch stilgezet.
- Elke leerling met een stopwatch noteert ten slotte de gemeten tijd.

▼ **tabel 3** de plaats-tijdtabel van proef 1

	A	B	C	D	E
plaats (m)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)	tijd (s)
0					
10					
20					
enzovoort					
100					



▶ **figuur 39** de meetopstelling voor proef 1

Zo ga je gegevens verzamelen over vijf bewegingen:
- Leerling A wandelt in een gewoon tempo.
- Leerling B sprint zo snel hij kan.
- Leerling C fietst in een kalm tempo.
- Leerling D fietst zo snel mogelijk.
- Leerling E fietst zo snel mogelijk met een tweede leerling achterop.

Uitwerken
- Na afloop worden alle meetresultaten door je docent verzameld.

1 Neem tabel 3 over in je schrift.
2 Noteer alle meetresultaten op de juiste plaats in de tabel.
3 Pak werkblad 6-3. Teken het plaats-tijddiagram van elke beweging. Gebruik steeds een andere kleur.

Beantwoord de volgende vragen nadat paragraaf 3 is behandeld.

4 Vergelijk jouw plaats-tijddiagrammen met de plaats-tijddiagrammen in paragraaf 3.
  a Bij welke beweging(en) is de beweging min of meer eenparig? Waaraan zie je dat?
  b Bij welke beweging(en) kun je duidelijk zien dat de beweging in het begin versneld is? Waaraan zie je dat?
5 Bereken de gemiddelde snelheid van elke beweging, eerst in m/s en daarna in km/h.

Proef 2 Bewegingen vastleggen met een tijdtikker 45 min

Inleiding
Een tijdtikker is een apparaatje dat stippen zet op een strook papier: de tikkerband. Je maakt de tikkerband vast aan een voorwerp waarvan je de beweging wilt vastleggen. Tijdens de beweging wordt de tikkerband door de tikker getrokken. De tikker zet stippen op de band. Na afloop kun je aan de hand van die stippen nagaan hoe het voorwerp heeft bewogen.

Doel
Je gaat met behulp van een tijdtikker een plaats-tijddiagram maken van een versnelde beweging, een eenparige beweging en een vertraagde beweging.

Nodig
- tijdtikker
- voedingskastje
- snoeren
- drukschakelaar
- 3 stukken tikkerband van 60 cm
- liniaal

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Je doet deze proef met z'n tweeën.
- Sluit de tijdtikker via de schakelaar aan op het voedingskastje. Je docent vertelt je op hoeveel volt wisselspanning je het apparaat moet laten werken.
- Leg een strook tikkerband van 60 cm in de tijdtikker.

Uitvoeren
Meting 1 Een versnelde beweging
- Leerling 1 geeft het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt de strook met een steeds grotere snelheid door de tijdtikker.
  Let op! De hele beweging moet op de strook worden vastgelegd.
- Schrijf op de strook 'versnelde beweging'.
  Zet een B (van begin) bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E (van eind) bij de laatste stip op de strook.

Meting 2 Een eenparige beweging
- Leg de tweede strook tikkerband in de tijdtikker.
- Leerling 1 geeft het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt de strook met constante snelheid door de tijdtikker.

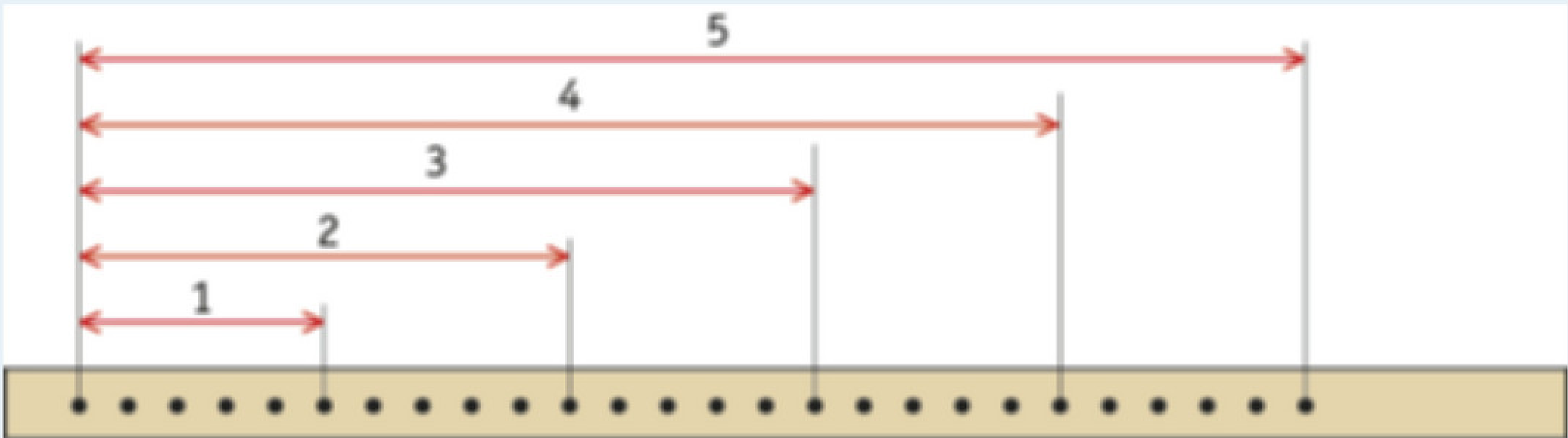
- Schrijf op de strook 'eenparige beweging'.
  Zet een B bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E bij de laatste stip op de strook.

Meting 3 Een vertraagde beweging
- Leg de derde strook tikkerband in de tijdtikker.
- Leerling 2 begint de strook door de tijdtikker te trekken.
- Leerling 1 geeft kort hierna het startsein en schakelt op dat moment de tijdtikker in.
- Leerling 2 trekt vanaf dat moment de strook met een steeds verder afnemende snelheid verder door de tijdtikker. (Oefen dit een paar keer, zonder de tijdtikker aan te zetten, voor je de proef echt doet.)
- Schrijf op de strook 'vertraagde beweging'.
  Zet een B bij de eerste stip op de strook.
  Zet een E bij de laatste stip op de strook.

Uitwerken
- Zet met potlood en liniaal een streep bij de eerste punt op de eerste strook.
- Tel vijf punten verder en zet weer een streep. Herhaal dit tot je bij het einde van de strook bent gekomen (zie figuur 40).
- Bewerk de andere twee stroken op dezelfde manier.

1 Neem tabel 4 over in je schrift.
2 Meet de afgelegde afstanden zoals in figuur 40 staat aangegeven.
Noteer de afstanden op de juiste plaats in de tabel.
3 Noteer in de tweede kolom van de tabel in hoeveel tijd elke afstand is afgelegd.
Sommige tijdtikkers zetten vijftig stippen per seconde, andere honderd stippen per seconde.
Je docent zal je vertellen hoe dat zit bij jouw tijdtikker.
4 Teken voor elke meting een afstand-tijdgrafiek.
5 Hoe ziet de grafiek eruit voor elk van de drie metingen? Wordt de grafiek bijvoorbeeld steeds steiler of juist minder steil?
6 Bereken de gemiddelde snelheid van elke beweging. Schrijf steeds de hele berekening op.

▼ **figuur 40**
Zo zet je de strepen op de tikkerband.



▼ **tabel 4** de meetresultaten van proef 2

		meting 1	meting 2	meting 3
afstand nummer	**tijd (s)**	**afstand (cm)**	**afstand (cm)**	**afstand (cm)**
0	0	0	0	0
1				
2				
3				
4				
5				
enzovoort				

Proef 3 De reactietijd 15 min

Inleiding
Je fietst door een drukke straat en opeens rent iemand vlak voor je de weg op. Geschrokken trap je op de rem (of knijp je in de remmen). Maar hoe snel je ook reageert, het duurt altijd even voordat je de rem hebt ingetrapt. Die tijd tussen zien en doen noem je de reactietijd.

Doel
Bij deze proef bepaal je hoe groot je eigen reactietijd is.

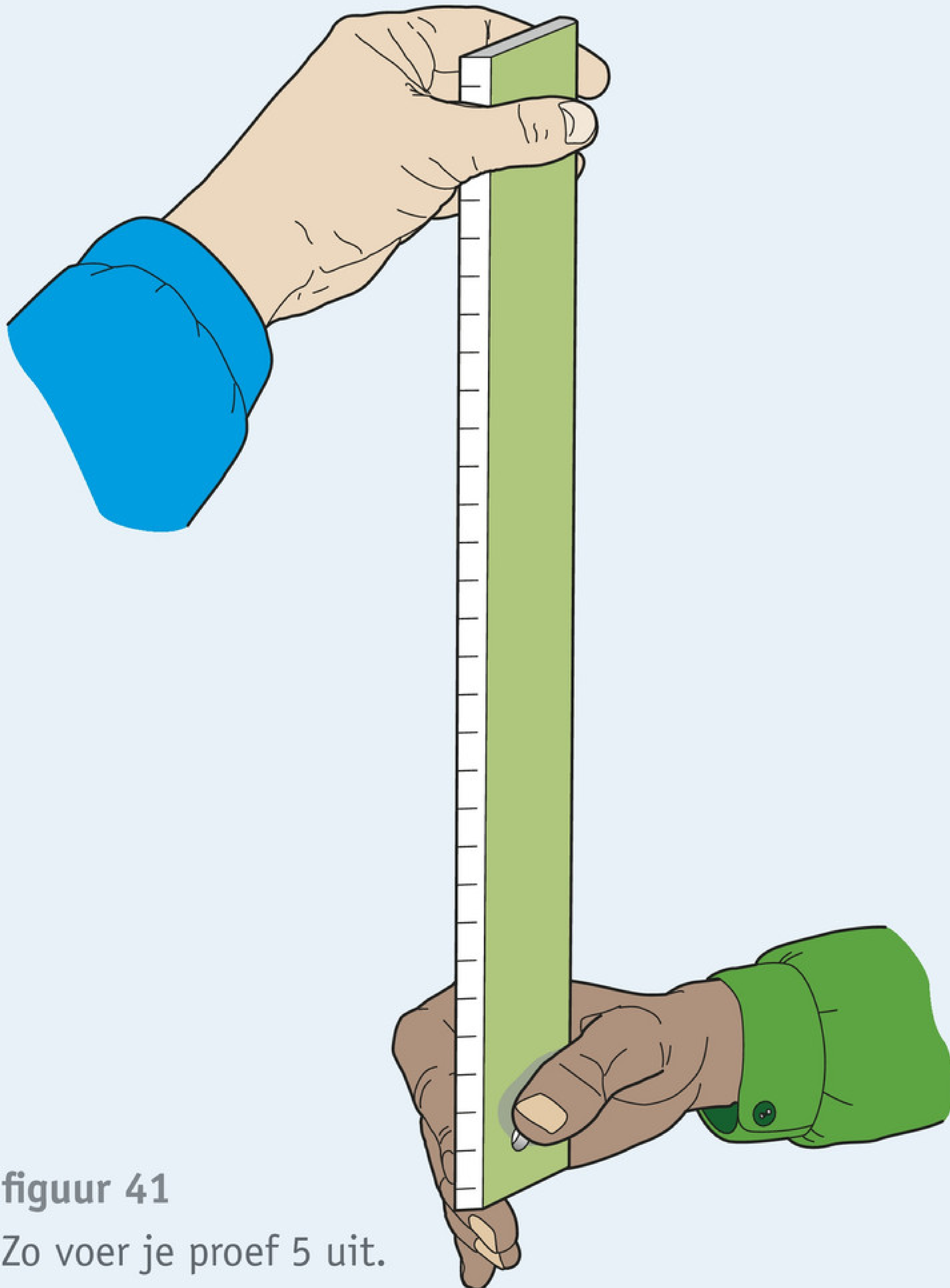
Nodig
- liniaal van 30 cm

Uitvoeren en uitwerken
Werkverdeling

Je voert deze proef met z'n tweeën uit. Leerling 1 is proefpersoon; leerling 2 is de tester. Halverwege de proef wissel je de rollen om.

Uitvoeren

– Leerling 2 houdt de liniaal bovenaan vast bij het 30 cm-streepje. Leerling 1 houdt duim en wijsvinger rond het 0 cm-streepje. Zie figuur 41.



▲ **figuur 41**
Zo voer je proef 5 uit.

– Opeens laat leerling 2 de liniaal los. Leerling 1 probeert de liniaal zo snel mogelijk met duim en wijsvinger te pakken.

1 Neem tabel 5 over in je schrift.
Noteer de valafstand in de tabel. Deze afstand kun je direct op de liniaal aflezen.

– Doe deze proef in totaal drie keer. Wissel daarna de rollen om. Doe de proef nu drie keer met leerling 2 als proefpersoon.

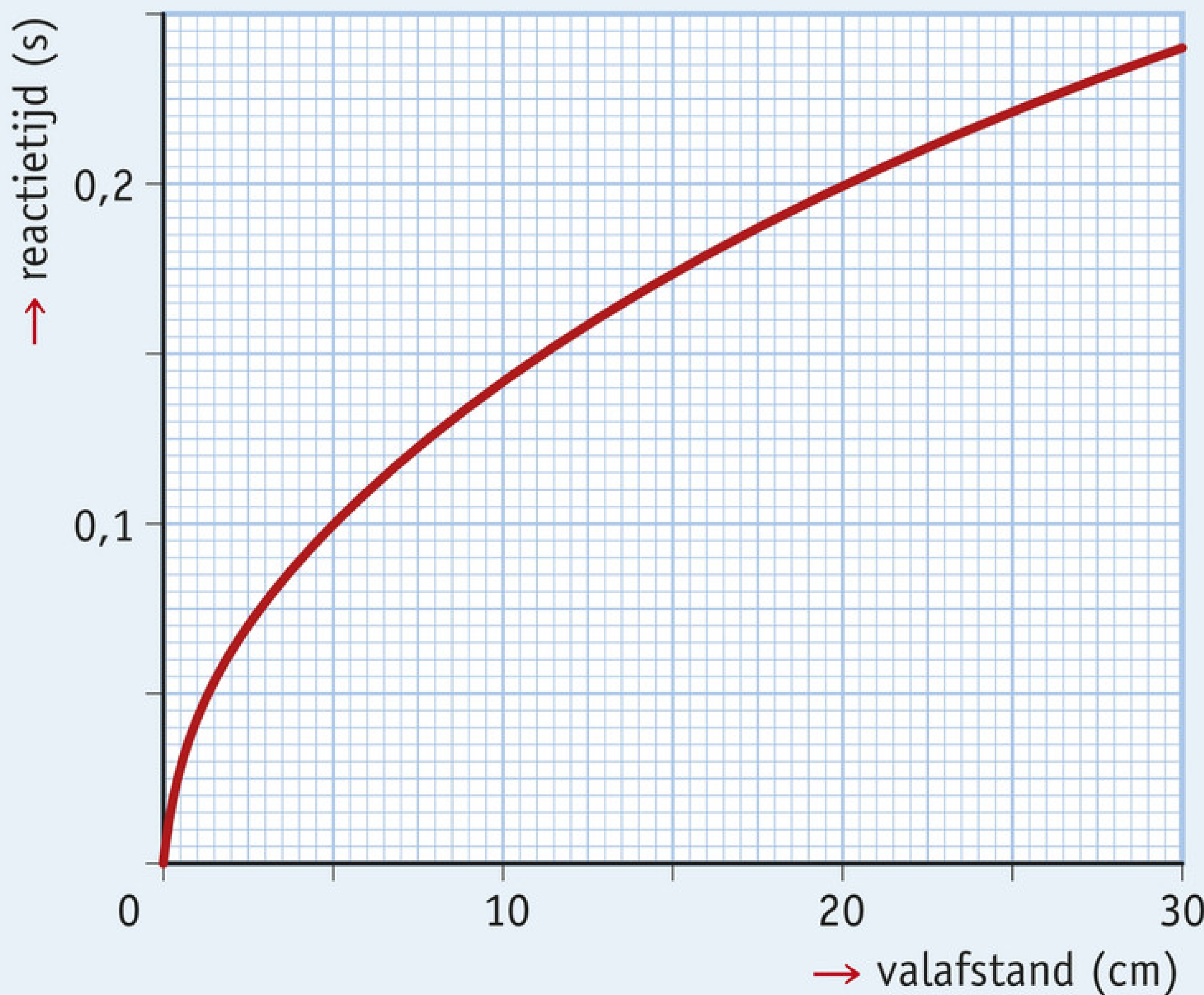
▼ **tabel 5** de meetgegevens van proef 3

proefpersoon	valafstand (cm)	reactietijd (s)
leerling 1		
leerling 1		
leerling 1		
leerling 2		
leerling 2		
leerling 2		

Uitwerken

2 Zie figuur 42.
Lees bij elke valafstand de bijbehorende reactietijd af.
Noteer de reactietijd in de derde kolom van de tabel.

3 Reken de gemiddelde reactietijd uit van beide leerlingen.



▲ **figuur 42**
het verband tussen de valafstand en de reactietijd

Proef 4 Een onderzoek uitvoeren – de lengte van de remweg 45 min

Inleiding
In een televisieprogramma beweert een verkeersdeskundige dat het gevaarlijk is om iemand achterop je fiets mee te nemen. Volgens deze deskundige ben je niet alleen minder stabiel, maar is je remweg ook langer. "Dat zal wel zo zijn," denk je, "maar die remweg: zou dat nou echt zoveel uitmaken? Dat moet te onderzoeken zijn ..."

Doel
Je gaat een antwoord zoeken op de onderzoeksvraag:
Met hoeveel procent neemt je remweg toe als je iemand achterop je fiets meeneemt?

Nodig
Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ziet je proefopstelling eruit, wat ga je precies meten, hoe zorg je ervoor dat je metingen herhaalbaar en dus controleerbaar zijn?
- Bespreek met elkaar welke risico's zich zouden kunnen voordoen. Hoe kun je ervoor zorgen dat je dit onderzoek veilig kunt uitvoeren?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

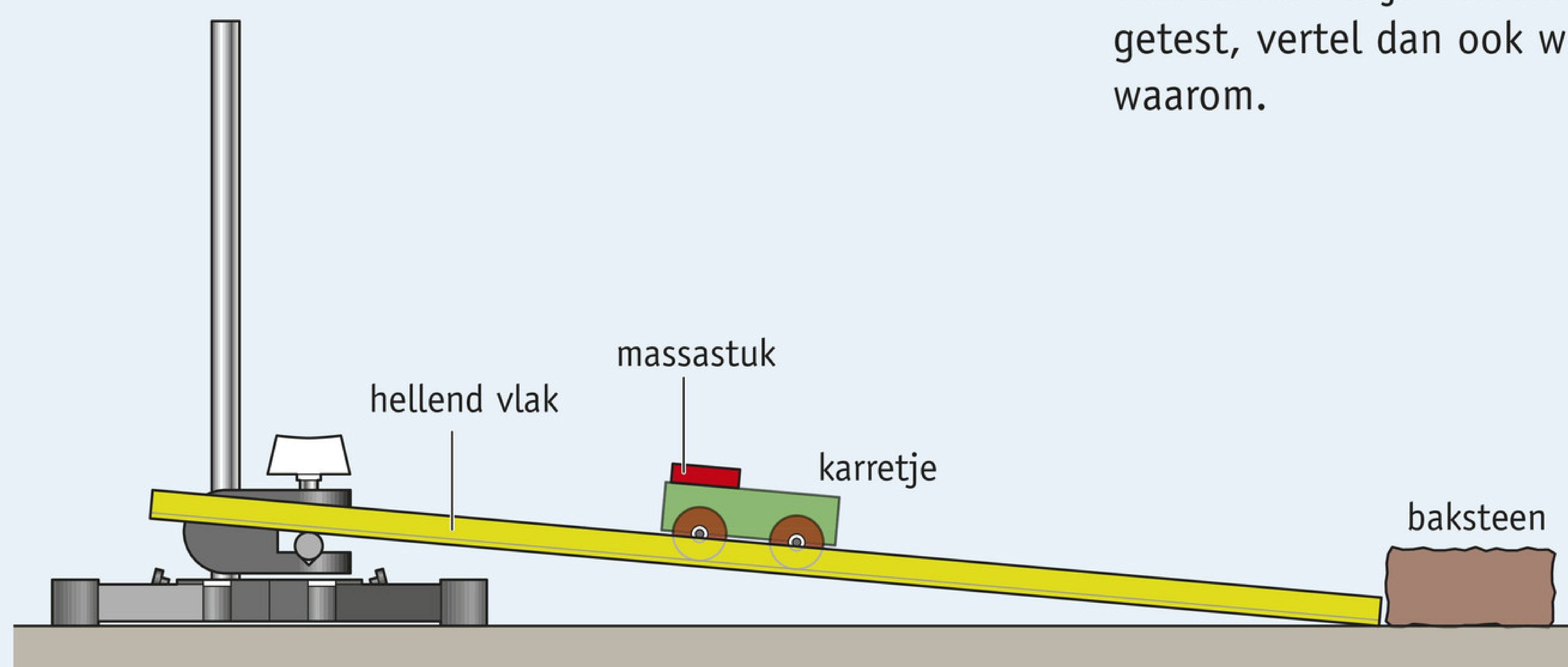
Proef 5 Een model van een kreukelzone ontwerpen 45 min

Inleiding
De kreukelzone van een auto vervormt gemakkelijk tijdens een botsing. Hierdoor wordt de 'remweg' voor de inzittenden langer gemaakt, zodat de klap van de botsing minder hard aankomt.

Doel
Je gaat een model van een kreukelzone ontwerpen en uitproberen.

Nodig
- karretje
- hellend vlak
- baksteen
- massastuk
- liniaal
- verschillende materialen (papier, karton, aluminiumfolie, plakband, enzovoort)

Uitvoeren en uitwerken
Voorbereiden
- Maak de opstelling die in figuur 43 getekend is.
- Leg het massastuk los op het karretje.
- Laat het karretje naar beneden rijden en tegen de baksteen botsen.
- Meet hoeveel centimeter het massastuk verschoven is.
- Maak de hellingshoek kleiner als het massastuk meer dan 8 cm verschoven is. Maak de hellingshoek groter als het massastuk minder dan 6 cm verschoven is.
- Herhaal de proef tot de verschuiving uitkomt tussen 6 en 8 cm.



▲ **figuur 43**
de opstelling van proef 5

Uitvoeren
- Bedenk hoe je een kreukelzone voor op het karretje kunt bouwen, met de materialen die je tot je beschikking hebt.
- Bouw de kreukelzone en test hem. Je model moet aan de volgende ontwerpeisen voldoen:

Ontwerpeisen
- Door de kreukelzone wordt de verschuiving van het massastuk minstens twee keer zo klein.
- De kreukelzone heeft een zo klein mogelijke massa (want de auto mag beslist niet zwaarder worden dan nodig is).

- Verbeter je ontwerp tot de kreukelzone aan de ontwerpeisen voldoet.
- Als je tijd genoeg hebt, kun je ook nog andere ontwerpen uitproberen. Probeer de hoeveelheid materiaal zo klein mogelijk te houden: hoe minder de kreukelzone weegt, hoe beter.

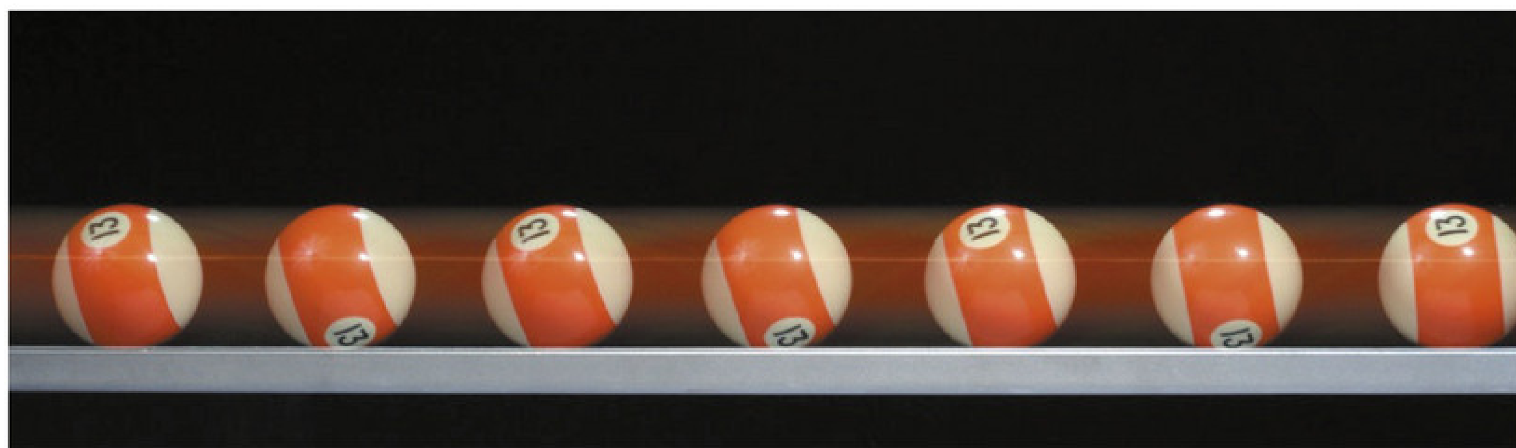
Presenteren
- Laat aan de klas zien hoe jouw kreukelzone eruitziet.
- Leg uit waarom je voor de door jou gebruikte materialen en de door jou bedachte vorm gekozen hebt en hoe je het ontwerp hebt uitgetest en verbeterd. Als je verschillende ontwerpen hebt getest, vertel dan ook welke de beste was, en waarom.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 t/m 15 ook maken met de computer.

1 Kevin heeft een video-opname van een vallende bal. Hij wil een plaats-tijdtabel maken van deze valbeweging.
Welke van de onderstaande gegevens heeft Kevin daarvoor in elk geval nodig?
A van welke afstand de opname gemaakt is
B wat de schaal van de videobeelden is
C hoe groot het aantal beelden per seconde is
D uit hoeveel beelden de opname bestaat

2 Bekijk de stroboscopische foto van een rollende bal in figuur 44. De stroboscoop gaf om de 0,1 s een flits.
Hoeveel tijdsverschil zit er tussen de eerste en de laatste opname?



▲ **figuur 44**
een rollende bal

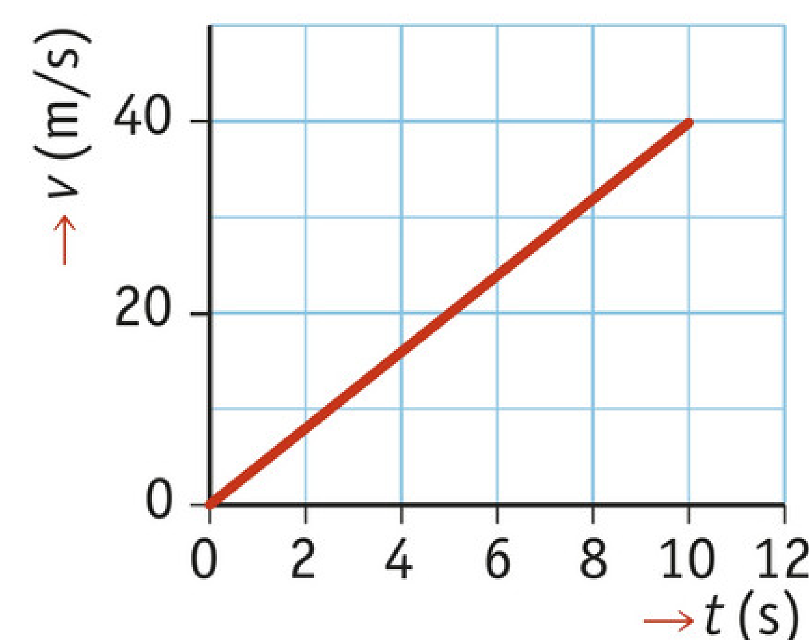
3 Neem over en vul in:
a 36 km/h = … m/s
b 126 km/h = … m/s
c 36 m/s = … km/h
d 23 cm/s = … m/s

4 De Varna Tempest is een speciaal ontworpen ligfiets met een zeer lage luchtweerstand. In 2009 deed de Canadees Sam Whittingham 5,4 s over een testtraject van 200 m lang.
Bereken zijn gemiddelde snelheid in km/h.

5 Klaas-Jan neemt een strafschop. De bal verlaat de schoen richting de rechterhoek van het doel met een snelheid van 90 km/h en blijft met die snelheid over het veld rollen. De bal zal de doellijn passeren op 11,5 m van de penaltystip als de keeper niet reageert.
Bereken hoeveel tijd de keeper heeft om de bal tegen te houden.

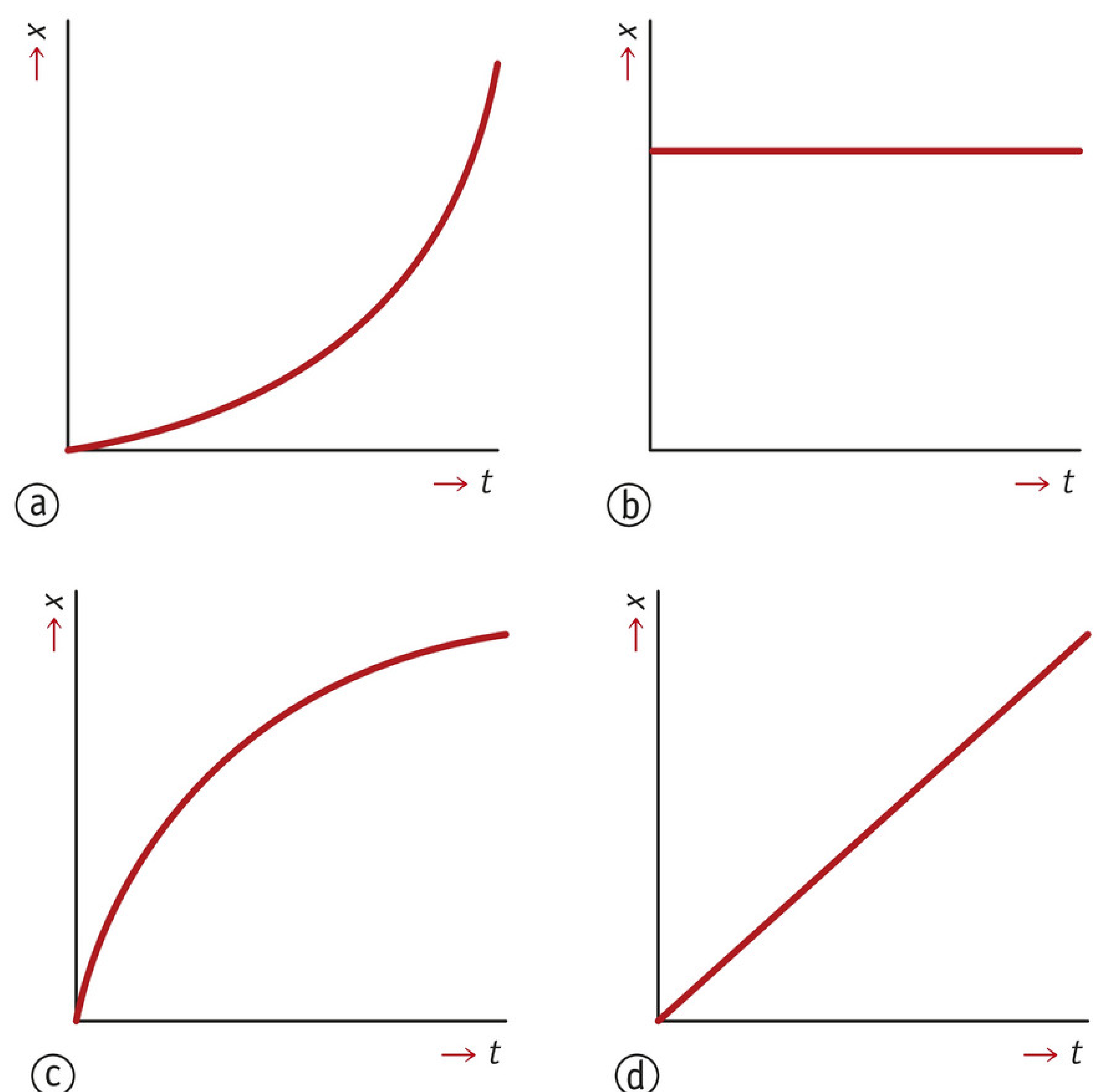
6 Patrick fietst in twintig minuten rechtstreeks van huis naar school. Zijn gemiddelde snelheid is 18 km/h.
Bereken hoever Patrick van school woont.

7 In het diagram van figuur 45 is de beweging van een auto vastgelegd.
a Hoe heet de beweging van deze auto?
b Hoeveel meter heeft de auto afgelegd van 0 tot 10 s?



▲ **figuur 45**
(v,t)-diagram van een auto

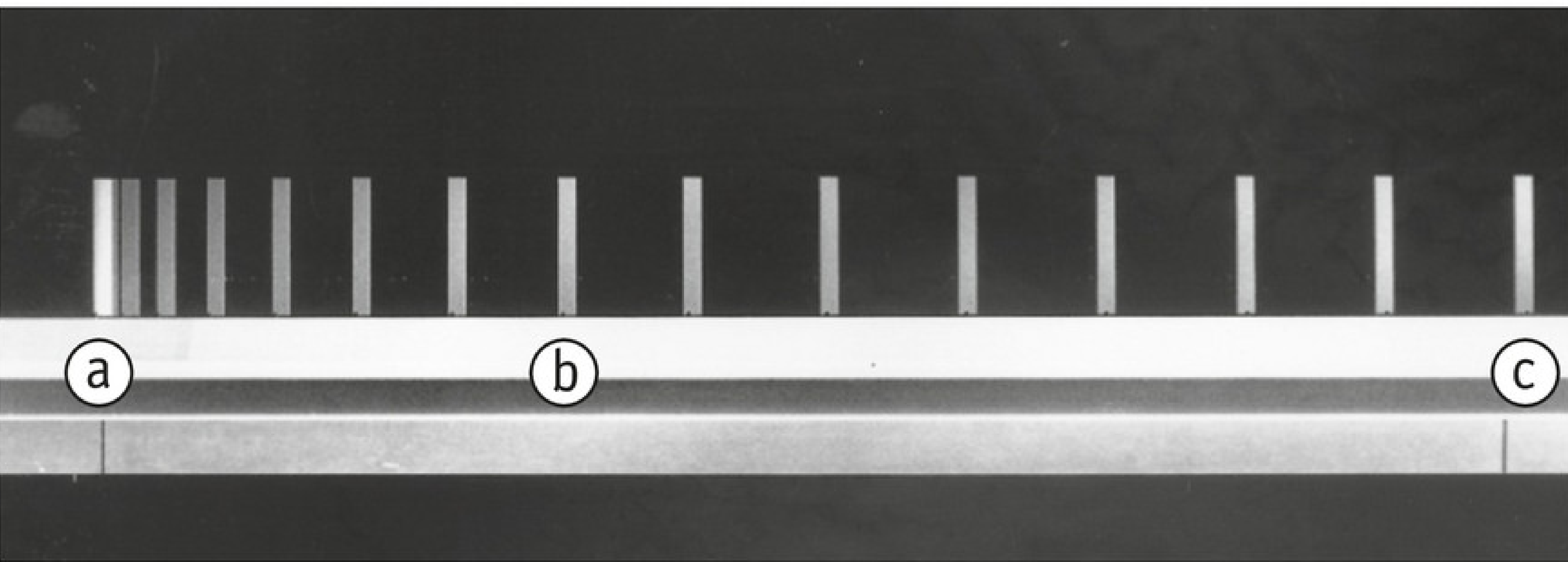
8 In figuur 46 zie je vier (x,t)-diagrammen van verschillende bewegingen.
Welk (x,t)-diagram:
a hoort bij een eenparige beweging?
b hoort bij een versnelde beweging?
c hoort bij een vertraagde beweging?
d hoort bij een stilstaand voorwerp?



▲ **figuur 46**
vier bewegingen

9 Een lift gaat in 10 s van de begane grond naar de zestiende verdieping op 50 m hoogte.
Welke bewering is juist?
A De hoogste snelheid van de lift is groter dan 5 m/s.
B De hoogste snelheid van de lift is precies 5 m/s.
C De hoogste snelheid van de lift is kleiner dan 5 m/s.

10 In figuur 47 zie je een stroboscopische foto van een proef met een zogenaamde luchtkussenbaan.
De beweging begint in a.
Kies steeds de juiste mogelijkheid.
a Tussen a en b beweegt het voorwerp *eenparig/versneld/vertraagd*.
b Tussen b en c beweegt het voorwerp *eenparig/versneld/vertraagd*.



▲ **figuur 47**
een stroboscopische foto van een proef met een luchtkussenbaan

11 Dat een auto niet op tijd tot stilstand kan komen, kan verschillende oorzaken hebben. Bijvoorbeeld:
1 De bestuurder voerde een telefoongesprek.
2 De auto trok een zwaar beladen aanhangwagen.
3 Het wegdek was door de regen nat geworden.
4 De autobanden hadden bijna geen profiel meer.
5 De bestuurder had een paar glazen wijn op.
6 De auto reed sneller dan de snelheidsmeter aangaf.
a Welke omstandigheden beïnvloeden de reactietijd?
b Welke omstandigheden maken de remweg langer?

12 Een groep leerlingen heeft de beweging van een fiets vastgelegd. De proef verliep als volgt:
De leerlingen hebben een baan uitgezet van vijftig meter. Daarna zijn ze met een stopwatch langs de baan gaan staan, met tussenruimtes van tien meter. De stopwatches werden tegelijk gestart, toen de fietser de startlijn passeerde. Elke keer dat de fietser een leerling passeerde, drukte die zijn of haar stopwatch in.
In tabel 6 zie je de verzamelde meetgegevens.
Om wat voor beweging gaat het?
A Het gaat om een versnelde beweging.
B Het gaat om een vertraagde beweging.
C Het gaat om een eenparige beweging.
D Dat kun je op grond van deze gegevens niet zeggen.

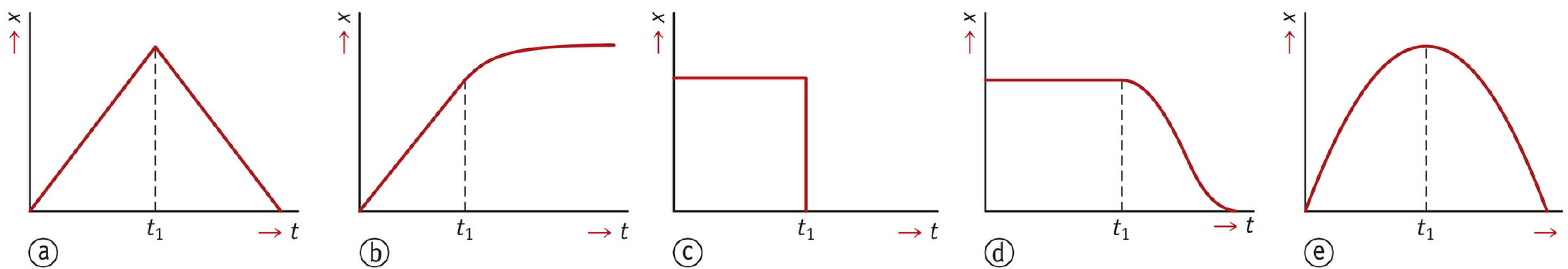
▼ **tabel 6** een afstand-tijdtabel van een fiets

tijd (s)	afstand (m)
0,0	0
1,26	10
3,01	20
4,93	30
7,37	40
11,43	50

13 Fokke fietst met z'n vriendin achterop van een heuvel af.
Neem over en vul in. Kies uit: *groter dan*, *even groot als* of *kleiner dan*.
a De totale massa is … normaal en dat maakt de remweg … normaal.
b De snelheid van de fiets is … normaal en dat maakt de remweg … normaal.
c De remkracht van de fiets is … normaal en dat maakt de remweg … normaal.

14 Een automobiliste rijdt met 80 km/h over een doorgaande weg. Op moment t_1 ziet ze dat de vrachtauto voor haar een deel van zijn lading verliest. Ze reageert snel, maar toch duurt het even, tot moment t_2, dat de remmen van haar auto aanslaan. Enkele seconden later, op moment t_3, komt haar auto – nog net op tijd! – tot stilstand.
Hoe noem je de afstand die haar auto aflegt:
a tussen moment t_1 en moment t_2?
b tussen moment t_2 en moment t_3?
c tussen moment t_1 en moment t_3?

15 Een auto heeft bij een snelheid van 80 km/h een remweg van 40 m.
Hoe groot is de remweg onder dezelfde omstandigheden bij 40 km/h?



▲ **figuur 48**

Welk (x,t)-diagram geeft de juiste plaats van de scooter weer?

16 Ruben rijdt met zijn scooter met een constante snelheid over een rechte weg. Op tijdstip t_1 gaat hij remmen tot hij stilstaat.
In figuur 48 zie je vijf (x,t)-diagrammen. In welk diagram is de plaats van de scooter juist weergegeven?

17 Janneke en haar broer Tom wonen op 800 m van school. Op een ochtend vertrekken ze tegelijk van huis. Tom gaat te voet en loopt steeds met een snelheid van 2,0 m/s. Janneke gaat op de fiets en fietst steeds met 8,0 m/s. Na 45 s loopt de ketting van haar fiets: het repareren duurt 4,0 min. Daarna rijdt ze weer met 8,0 m/s verder.

- **a** Teken van beide bewegingen het (x,t)-diagram.
- **b** Haalt Tom Janneke in? Zo ja, op welk tijdstip?
- **c** Wie is het eerst op school en hoeveel meter moet de ander dan nog afleggen?

18 Bij snelheidscontroles wordt vaak gebruikgemaakt van een trajectmeting. Hierbij wordt met behulp van camera's over een afstand van 3,0 km aan het begin en het einde van het traject het passerende verkeer geregistreerd. Een computer berekent voor elke auto de gemiddelde snelheid. Als die snelheid hoger is dan de toegestane snelheid, krijgt de hardrijder automatisch een bekeuring thuisgestuurd.

- **a** De maximale snelheid op een traject is 100 km/h.
  Bereken de kortste tijd die een auto over het traject mag doen.
- **b** Een bepaalde automobilist rijdt op het traject op een gegeven moment 160 km/h.
  Is het zeker dat hij bekeurd wordt? Licht je antwoord toe.
- **c** Een andere automobilist rijdt de eerste helft van het traject 120 m/h.
  Bereken hoe hard hij op het tweede stuk (gemiddeld) mag rijden om net geen bekeuring te krijgen.

19 In figuur 49 zie je een stroboscopische foto van een speelgoedeend die weg wordt gegooid.

- **a** Op welk moment bewoog de speelgoedeend het snelst en hoe zie je dat?
- **b** Op welk moment bewoog de speelgoedeend het langzaamst en hoe zie je dat?
- **c** Een afstand van 1,0 cm op de foto komt overeen met 10 cm in de werkelijkheid. De stroboscoop gaf elke 0,1 s een flits.
  Bereken de gemiddelde snelheid van de eend tussen de eerste twee flitsen die op de foto te zien zijn.

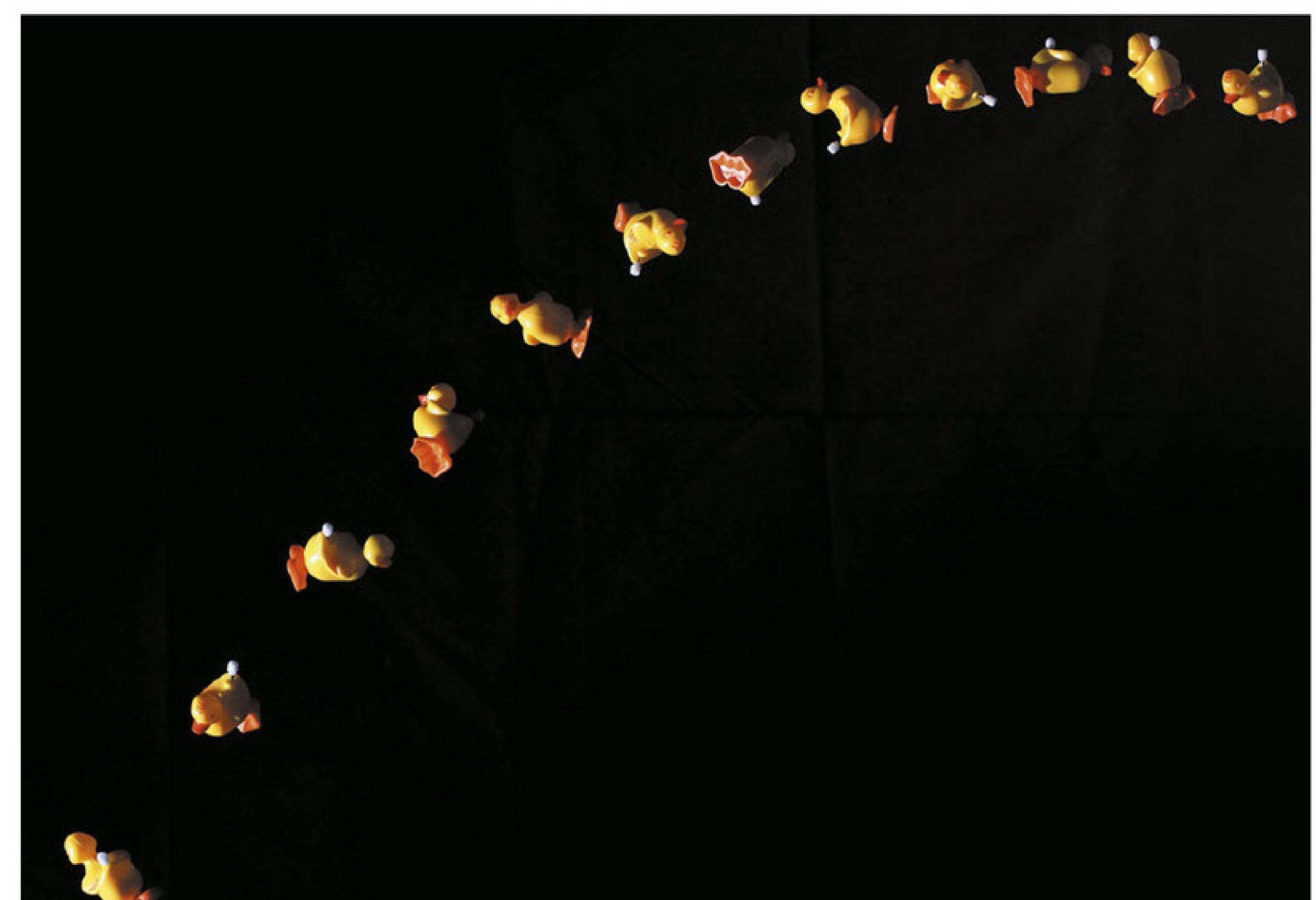
20 Isa en Floor rennen elkaar tegemoet. Op een bepaald moment (t = 0 s) zijn ze 45 m van elkaar verwijderd. Isa rent met een constante snelheid van 2,5 m/s. De beweging van Floor is eenparig en haar snelheid is 1,0 m/s groter dan die van Isa. Bepaal met behulp van een diagram na hoeveel seconden ze elkaar zullen ontmoeten.

21 Een auto staat 2,0 s stil met draaiende motor. Daarna trekt de auto in 6,0 s eenparig versneld op tot een snelheid van 72 km/h. Met deze snelheid blijft hij gedurende 10,0 s rijden. Daarna remt de bestuurder (een eenparige vertraging) en staat de auto binnen 4,0 s stil.

- **a** Teken het (v,t)-diagram van de beschreven situatie.
- **b** Bereken de afstand die de auto heeft afgelegd.

▼ **figuur 49**

Een speelgoedeend wordt in de lucht gegooid.





Luchtacrobaten in SLOW MOTION

Een groep ganzen strijkt neer. Vlak voordat de vogels op het water landen, haalt een gans een verbluffend staaltje luchtacrobatiek uit. Het dier gaat op zijn rug vliegen, met de buik naar boven en de poten omhoog. Alleen de kop kijkt nog gewoon rechtuit, doordat de nek 180 graden is gedraaid. Het lijkt een unieke prestatie, maar een paar andere ganzen volgen meteen zijn voorbeeld.

Dat de vliegstunts van de ganzen in slow motion zijn vastgelegd, is te danken aan *De Vliegkunstenaars*, een uniek project van de Universiteit van Wageningen. Bij dit project werden hogesnelheidscamera's uitgeleend aan vrijwilligers: natuurliefhebbers, hobbyfotografen, kunstenaars en andere belangstellenden. Ze kregen de opdracht om opnames te maken van luchtacrobatiek in de natuur.

De deelnemers filmden de meest uiteenlopende onderwerpen. Zo werden er opnames gemaakt van een vlieg die een salto maakt, van mussen die een luchtgevecht houden en van een bij die tegen een hommel botst. Onderzoekers gebruiken die beelden om te bestuderen hoe vogels en insecten vliegen. Normaal bewegen de vleugels veel te snel om dat goed te kunnen zien.

Slow motion

Een gewone video-opname, zoals een filmpje op *YouTube*, bestaat uit 24 tot 30 beeldjes per seconde. Als je zo'n opname op de gewone snelheid bekijkt zie je niet de afzonderlijke beeldjes, maar een vloeiend bewegend beeld. Dat verandert wanneer je de opname tien keer vertraagd afspeelt. Dan zie je een opeenvolging van losse beeldjes die niet de suggestie wekken van een vloeiende beweging.

Een hogesnelheidscamera is gemaakt om heel snelle bewegingen vast te leggen. Daarom legt zo'n camera veel meer beeldjes per seconde vast dan een gewone videocamera. Een opname kan bijvoorbeeld uit 300 beeldjes per seconde bestaan. Als je die dan tien keer vertraagd afspeelt, lijkt een seconde 10 seconden te duren. Omdat er bij het afspelen 300 : 10 = 30 beeldjes per seconde te zien zijn, ziet de beweging er toch vloeiend uit.

Het vertraagd maar vloeiend weergeven van bewegingen wordt slow motion genoemd. Slow motion is niet alleen nuttig in de wetenschap om snelle bewegingen vast te leggen en te onderzoeken. De techniek wordt ook vaak in films gebruikt, bijvoorbeeld om een dramatische scène nog indrukwekkender te maken of om bij een actiescène ieder detail te laten zien.

WEETJE

Eén van de bekendste slow motion-scènes komt uit de film *The Matrix* (1999). In deze scène lijkt de camera om hoofdpersoon Neo heen te bewegen. Deze scène is niet gemaakt met één hogesnelheidscamera, maar met 120 verschillende camera's die ieder vlak na elkaar één beeldje opnamen.

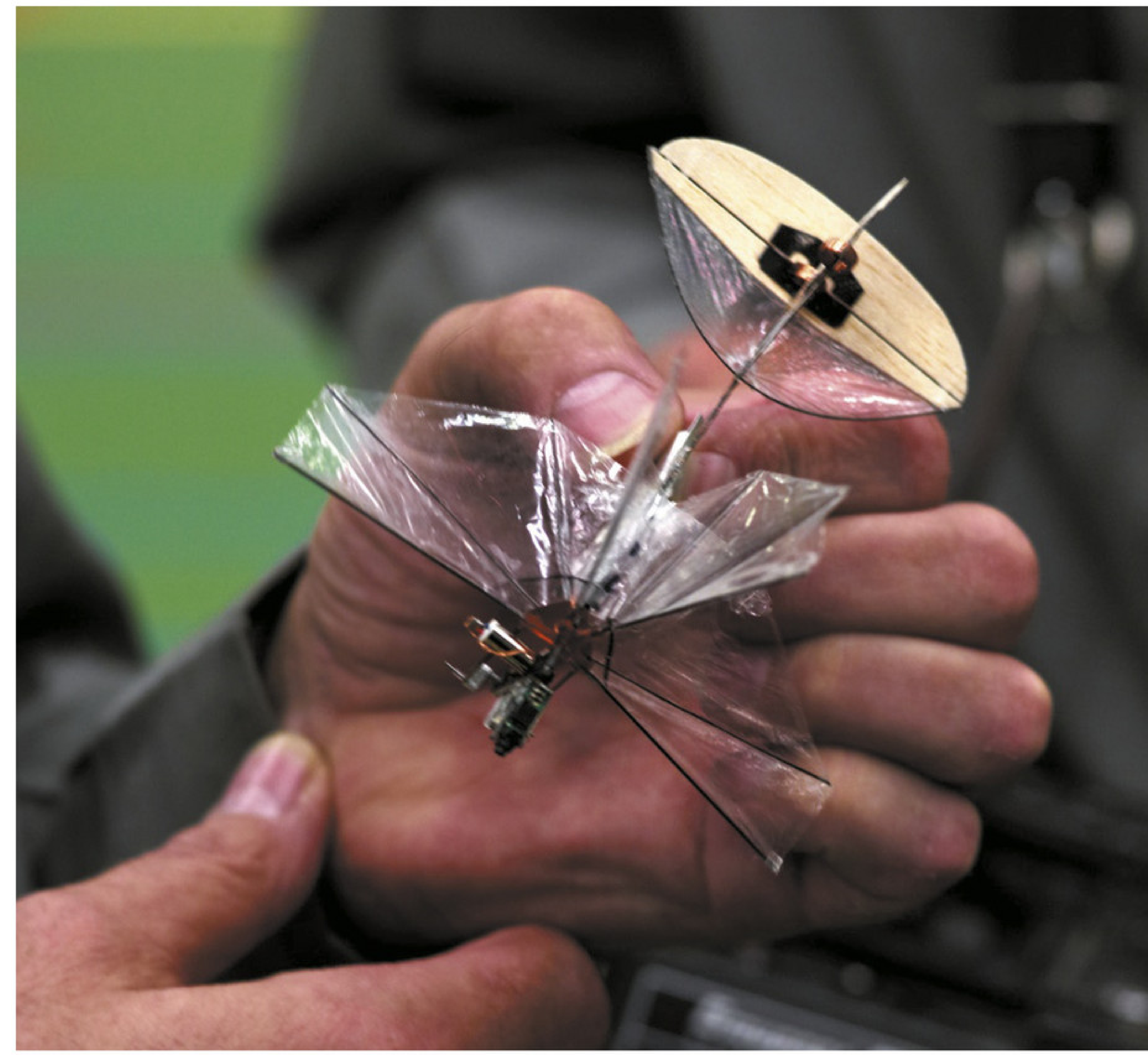


Vliegkunstenaars

Voor het project *De Vliegkunstenaars* werden meer dan 2000 filmpjes gemaakt door 460 vrijwilligers. De filmpjes zijn vrij beschikbaar op het internet en kunnen gebruikt worden voor spreekbeurten, voor wetenschappelijk onderzoek en voor alles daartussenin! Daardoor kun je nu in alle rust genieten van de schitterende vliegbewegingen van alledaagse vliegkunstenaars om ons heen: van vlinder tot mus, van vleermuis tot helikopterzaadje.

De opnames hebben allerlei nieuwe informatie opgeleverd. Het was bijvoorbeeld al langer bekend dat ganzen af en toe op hun rug vliegen, maar veel meer wisten de onderzoekers er niet van; de ganzen voeren de manoeuvre zo snel uit dat die met het blote oog bijna niet te volgen is. Door een van de vrijwilligers werd dit gedrag nu voor het eerst met een hogesnelheidscamera gefilmd. Dankzij hem is de hele vliegbeweging nu in slow motion te volgen.





De onderzoekers in Wageningen zijn er vooral in geïnteresseerd hoe vleugels van vogels en insecten bewegen tijdens het vliegen. Slowmotionopnames zijn voor hen onmisbaar. David Lentink, die het project heeft opgezet: “We hebben bijvoorbeeld opnames van een wesp. Die heeft twee vleugelparen, net als andere insecten. Maar tijdens het flappen, het opwarmen voor het vliegen, haken de vleugels in elkaar, waardoor ze effectief nog maar twee vleugels hebben. Dat had ik nog nooit gezien.”

De vleugels van vogels en insecten functioneren heel anders dan de starre vleugels van een vliegtuig. Het zijn lichte, buigzame structuren die allerlei complexe bewegingen kunnen maken. De vleugels gaan tijdens het vliegen niet alleen op en neer, maar draaien ook en worden intussen op allerlei manieren vervormd. Al die bewegingen zijn wel effectief: veel vogels en insecten zijn echte luchtacrobaten, snel en enorm wendbaar.

Vliegen als een libel

Kennis zoals de onderzoekers in Wageningen die verzamelen, is niet alleen interessant voor natuurliefhebbers. Die kennis wordt tegenwoordig ook toegepast bij het ontwerpen van ultrakleine vliegtuigjes. De kleinste vliegtuigjes imiteren de manier van vliegen van vogels en insecten. Ze hebben geen grote vaste vleugels, zoals een gewoon vliegtuig, maar bewegende, flexibele vleugeltjes. Slowmotionopnames van vogels en insecten zijn enorm waardevol bij de zoektocht naar het optimale vleugelontwerp.

Slowmotionopnames van vogels en insecten zijn enorm waardevol bij de zoektocht naar het optimale vleugelontwerp

Die zoektocht begint inmiddels resultaten af te werpen. Zoals de *Delfly Micro*, een minivliegtuigje met een lengte van tien centimeter en een massa van drie gram, dat vliegt als een libel. Sinds 2008 is het officieel de kleinste vliegende robot met camera ter wereld. Het ontwerpteam van de Technische Universiteit in Delft hoopt dat de *Delfly Micro* de brandweer kan helpen brandhaarden in een gebouw te vinden of om overlevenden in ingestorte gebouwen op te sporen. Ook zou het robotje kunnen worden gebruikt door de politie om een huis in kaart te brengen voordat ze er een inval doen.

Inmiddels worden steeds meer robots ontwikkeld die vliegen als insecten of vogels. Aan de

universiteit van Leuven in België ontwikkelde student Frederik Leys de Kulibrie, een vliegende robot van vier gram, geïnspireerd op de manier van vliegen van een kolibrie. In de Verenigde Staten is een groep onderzoekers bezig de Robobee te ontwikkelen. Dat is een vliegende robot van minder dan 0,1 g die gebaseerd is op het vlieggedrag van bijen. Het is de bedoeling dat deze robobees, net als bijen, zich samen als een kolonie gaan gedragen.

Zo blijken filmpjes die met een hogesnelheidscamera zijn gemaakt, niet alleen interessante beelden op te leveren, maar ook tot verrassende inzichten te leiden. In de toekomst kunnen ultrakleine vliegtuigjes allerlei taken uitvoeren waarvan we nu alleen nog maar kunnen dromen – op basis van de luchtacrobatiek van vogels en insecten.



Klappende waterballon

Hogesnelheidscamera's worden ook voor allerlei ander onderzoek gebruikt. Er zijn bijvoorbeeld indrukwekkende filmpjes gemaakt van waterballonnen die knappen. Met het blote oog lijkt het alsof de ballon in één keer uit elkaar klapt en het water naar beneden valt. Op filmpjes die met hele hoge snelheid zijn opgenomen, is echter te zien dat de ballon eerst openscheurt en dat het water nog even in de vorm van de ballon blijft hangen.

Opgaven

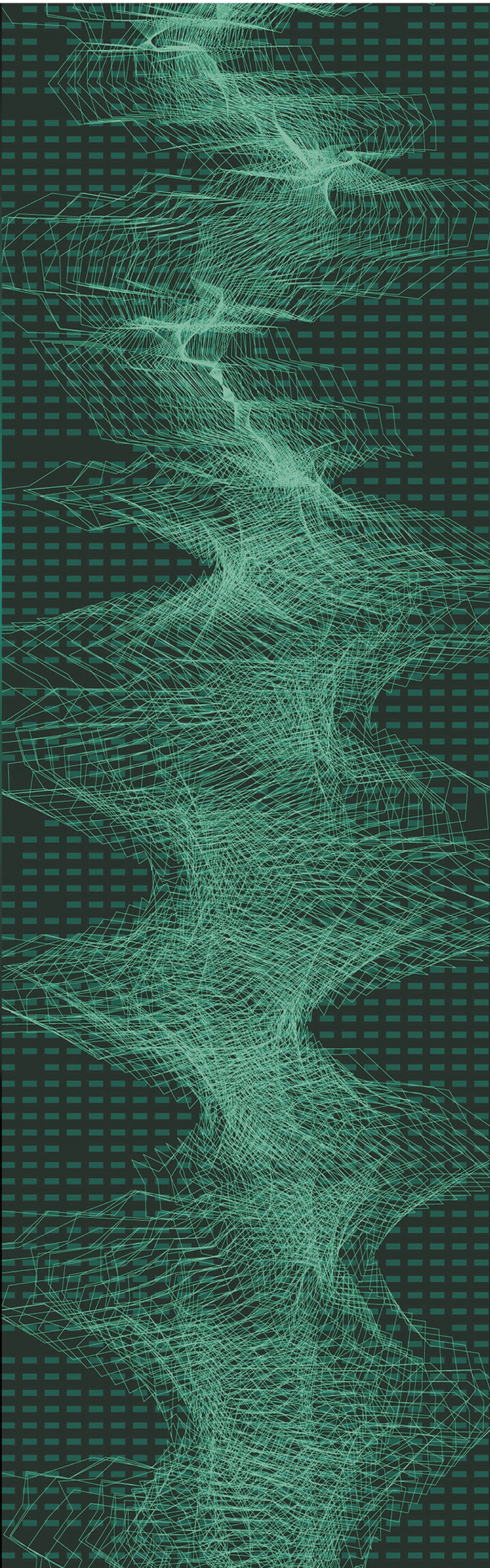
1 Een video is opgenomen met 450 beeldjes per seconde en wordt afgespeeld met 30 beeldjes per seconde.

- **a** Hoeveel keer zo langzaam lijkt de beweging die op de video is vastgelegd?
- **b** Er zijn al professionele camera's die kunnen filmen met een miljoen beeldjes per seconde.
  Hoeveel keer zo langzaam lijkt de gefilmde beweging als de video wordt afgespeeld met 30 beeldjes per seconde?

2 De camera's van het project *De Vliegkunstenaars* maken 600 beeldjes per seconde. Op een filmpje die met zo'n camera gemaakt is, doet een hommel er 12 beeldjes over om 10 cm vooruit te komen.
Bereken de gemiddelde snelheid van de hommel. Geef je antwoord in m/s en in km/h.

3 De *Delfly Micro* kan drie minuten achter elkaar vliegen.
Leg uit waarom het moeilijk is om zo'n klein vliegtuigje langer te laten vliegen.





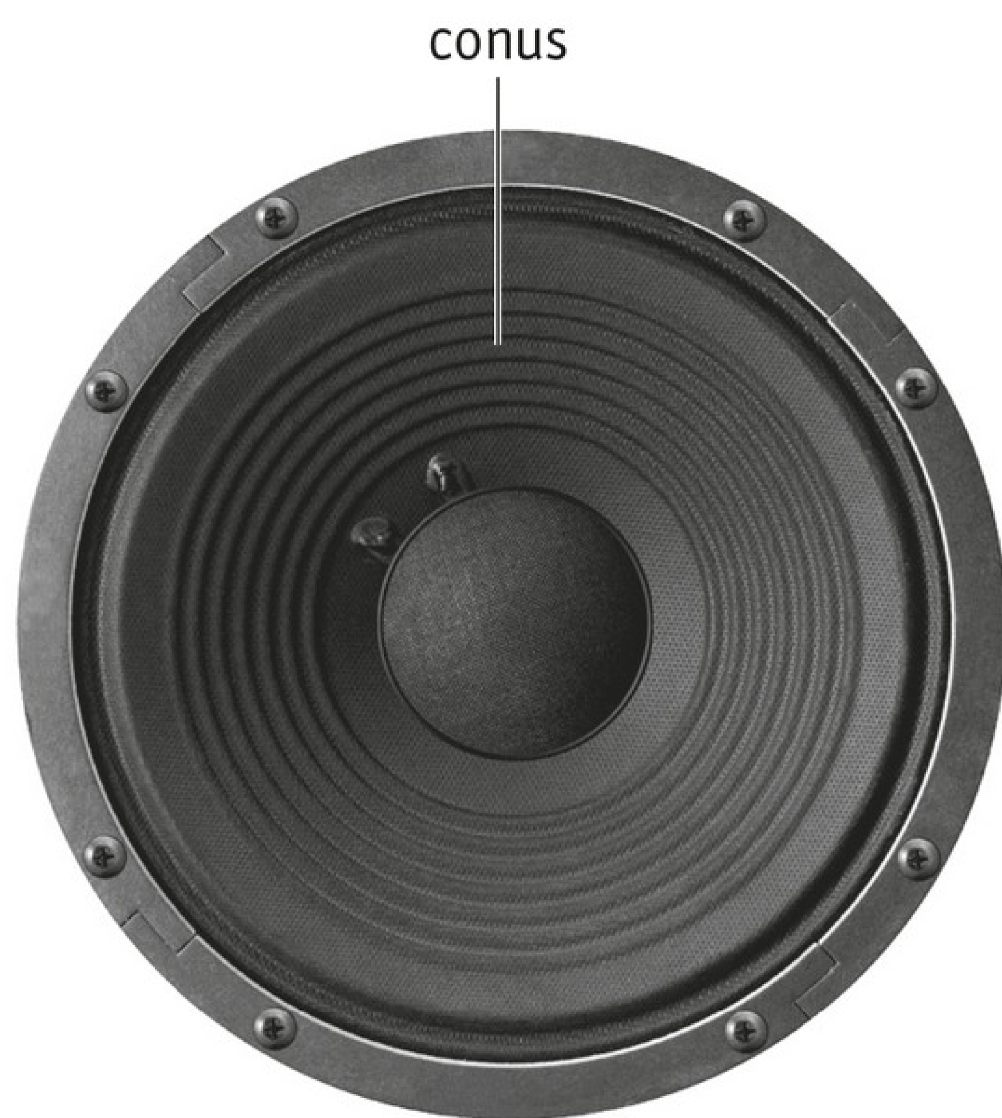
7 Geluid

Geluidsgolven zijn overal

Een wereld zonder geluiden kun je je moeilijk voorstellen. Hoe zou de wereld zijn zonder muziek, zonder leuke gesprekken, zonder het geluid van de wind en de zee? Maar ook zonder de herrie van langsrazende auto's, jankende katten en luidruchtige buren!

1 Geluid maken en horen

In de natuur kom je allerlei geluiden tegen. Denk aan het rommelen van de donder, het ruisen van de zee en aan dierengeluiden. Ook mensen maken en veroorzaken geluid. Ze praten, zingen, schreeuwen, maken muziek, rijden in auto's en steken vuurwerk af, enzovoort.



▲ **figuur 1**
Als een luidspreker geluid geeft, kun je de conus voelen (en soms zien) trillen.

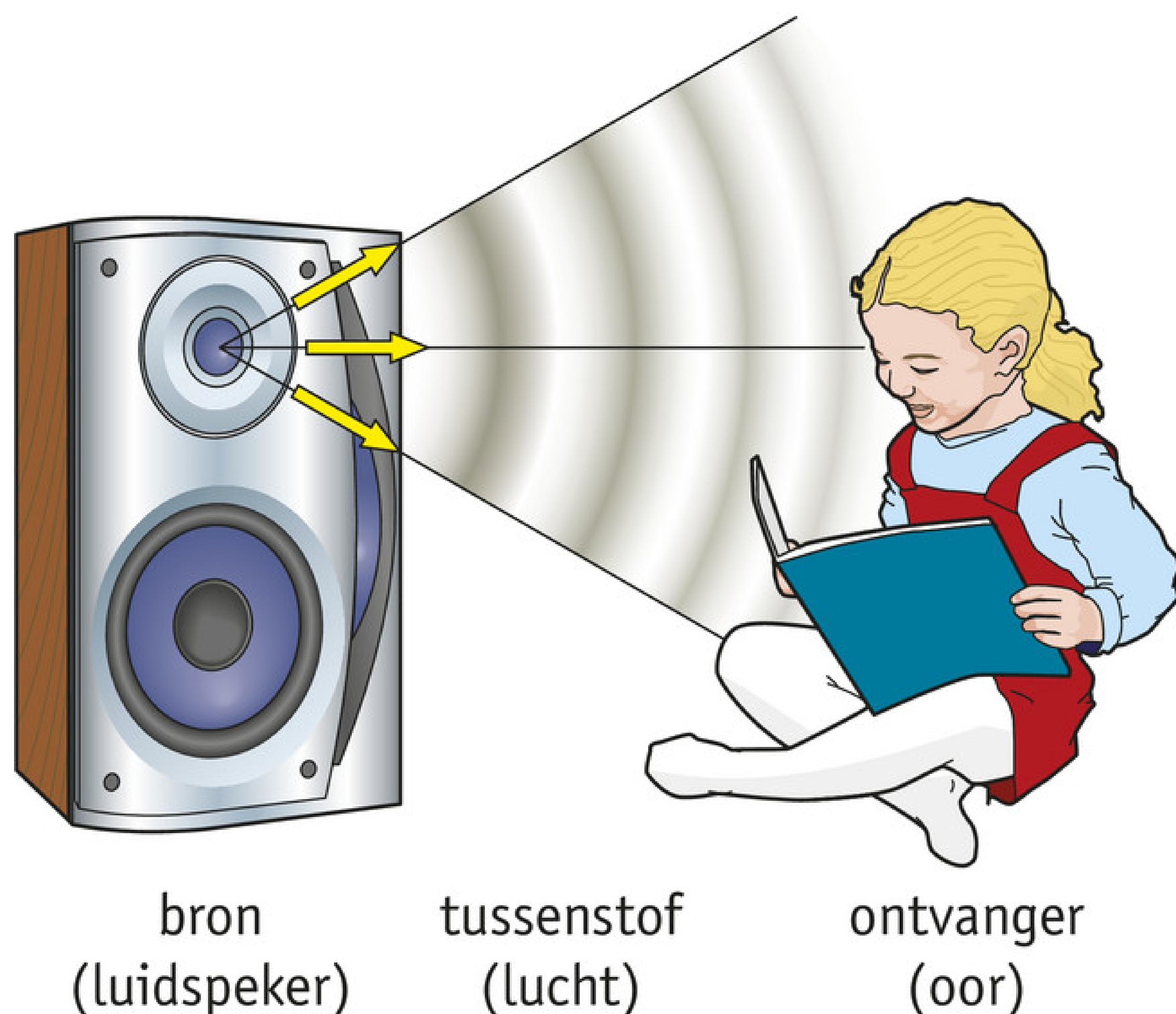
Geluidsbronnen Proef 1

Een voorwerp dat geluid maakt, noem je een **geluidsbron**. Veel geluidsbronnen zijn door mensen gemaakt, zoals muziekinstrumenten, vuurwerk, motoren en luidsprekers. Andere geluiden komen van natuurlijke geluidsbronnen: je stem, regendruppels of de donder.

Geluid ontstaat door de trillingen in een geluidsbron:
- Bij je stem zijn het de stembanden in je keel die trillen.
- Bij een luidspreker is het de conus die trilt (figuur 1).

Geluidsgolven Proef 2

De conus van een luidspreker is een dun vel van papier of plastic (conus komt van het Griekse *konos* = pijnappel of kegel). Als de luidspreker geluid geeft beweegt de conus snel heen en weer. Daardoor ontstaan er drukveranderingen in de lucht. Als de conus naar buiten beweegt, worden de luchtmoleculen dichter op elkaar gedrukt en stijgt de luchtdruk. Als de conus naar binnen beweegt, krijgen de moleculen juist meer ruimte en daalt de luchtdruk. In figuur 2 zie je hoe het geluid van een luidspreker zich verspreidt.



▲ **figuur 2**
De drukveranderingen bewegen van de geluidsbron naar de ontvanger.

Doordat de luchtmoleculen rond de luidspreker voortdurend met elkaar botsen, geven ze hun beweging aan elkaar door. De beweging van de moleculen vlak bij de conus wordt zo doorgegeven aan de moleculen die zich verder van de conus bevinden. Hierdoor bewegen de drukveranderingen in alle richtingen bij de luidspreker vandaan. Zo'n stroom van afwisselend een hogere en een lagere druk wordt een **geluidsgolf** genoemd. Als een geluidsgolf je oren bereikt, hoor je het geluid.

Je kunt een geluid alleen horen als er een **tussenstof** ofwel **medium** (dat betekent in het Latijn: het midden) is. Dit is een stof waardoor de trillingen zich kunnen verplaatsen van de geluidsbron naar je oren. De meeste geluiden bereiken je oren via de lucht. Maar geluid kan zich ook verplaatsen door een vloeistof of een vaste stof. Het geluid van je stem hoor je bijvoorbeeld niet alleen buitenom (via de lucht), maar ook binnendoor (via je schedel). Ook onder water kun je geluid horen.

Geluidssnelheid

Geluid heeft tijd nodig om zich door een stof te verplaatsen. Hoe snel het geluid zich verplaatst, verschilt van stof tot stof. In lucht is de **geluidssnelheid** bij 20 °C gelijk aan 343 m/s. Dat is meer dan 1200 km/h!

Je kunt geluid gebruiken om de afstand te berekenen tussen de geluidsbron en de ontvanger. Daarvoor moet je de geluidssnelheid kennen en weten (of meten) hoe lang het geluid erover deed om van bron naar ontvanger te bewegen. Daarna gebruik je de formule die je kent uit hoofdstuk 6:

afstand = (geluids)snelheid × tijd

of in symbolen:

$s = v \cdot t$

Als je de geluidssnelheid v invult in meter per seconde en de tijd t in seconde, vind je de afstand s in meter. In tabel 1 kun je zien hoe groot de geluidssnelheid in verschillende media is.



▲ **figuur 3** Het geluid van de donder heeft een snelheid van ongeveer 340 m/s.

▼ **tabel 1** de geluidssnelheid in enkele vaste stoffen, vloeistoffen en gassen bij 20 °C

stof	geluidssnelheid (m/s)
vaste stoffen	
beton	4300
glas	4000–4500
kurk	500
rubber	50
staal	5100
vloeistoffen	
alcohol	1170
water	1480
zeewater	1510
gassen	
helium	965
koolstofdioxide (CO_2)	259
lucht	343

Voorbeeldopgave 1

Inge maakt een wandeling aan het einde van een warme dag. Ze ziet in de verte de bliksem inslaan (figuur 3) en kijkt direct naar de secondewijzer van haar horloge. Het duurt drie seconden voor ze de donder hoort.
Bereken de afstand van Inge tot de blikseminslag.

gegevens $v = 343$ m/s
$t = 3$ s

gevraagd $s = ?$

uitwerking $s = v \cdot t = 343 \times 3 = 1029$ m

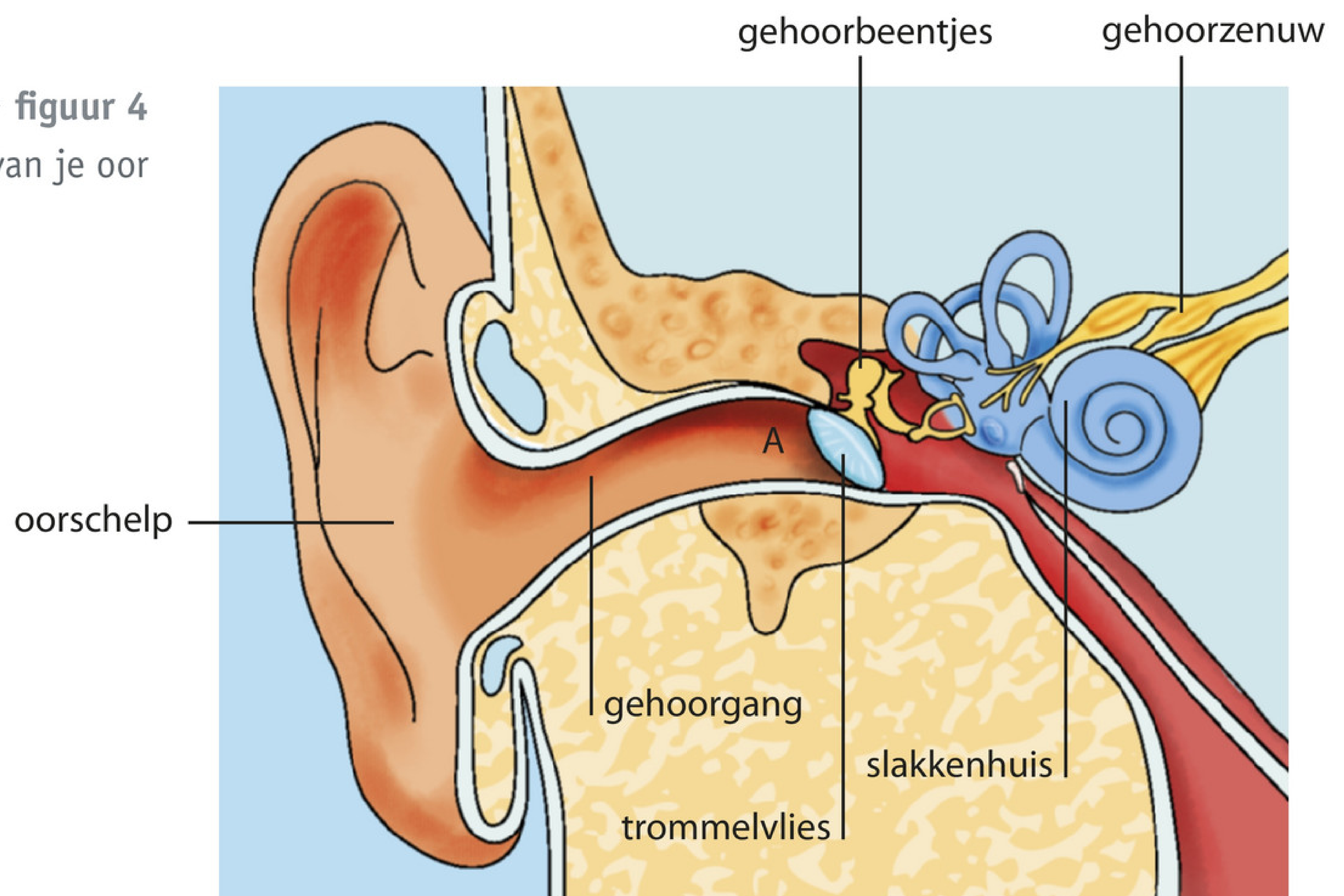
De afstand is dus ongeveer 1 km.
Je hoeft geen rekening te houden met de tijd die het licht nodig heeft om bij je ogen te komen. De lichtsnelheid is namelijk heel groot: ongeveer 300 000 km/s!

Geluid horen

In figuur 4 is het inwendige van een oor getekend. Als de geluidsgolven het oor bereiken, zal het trommelvlies mee gaan trillen:

- Het trommelvlies beweegt naar binnen als de luchtdruk bij A hoger wordt.
- Het trommelvlies beweegt naar buiten als de luchtdruk bij A lager wordt.

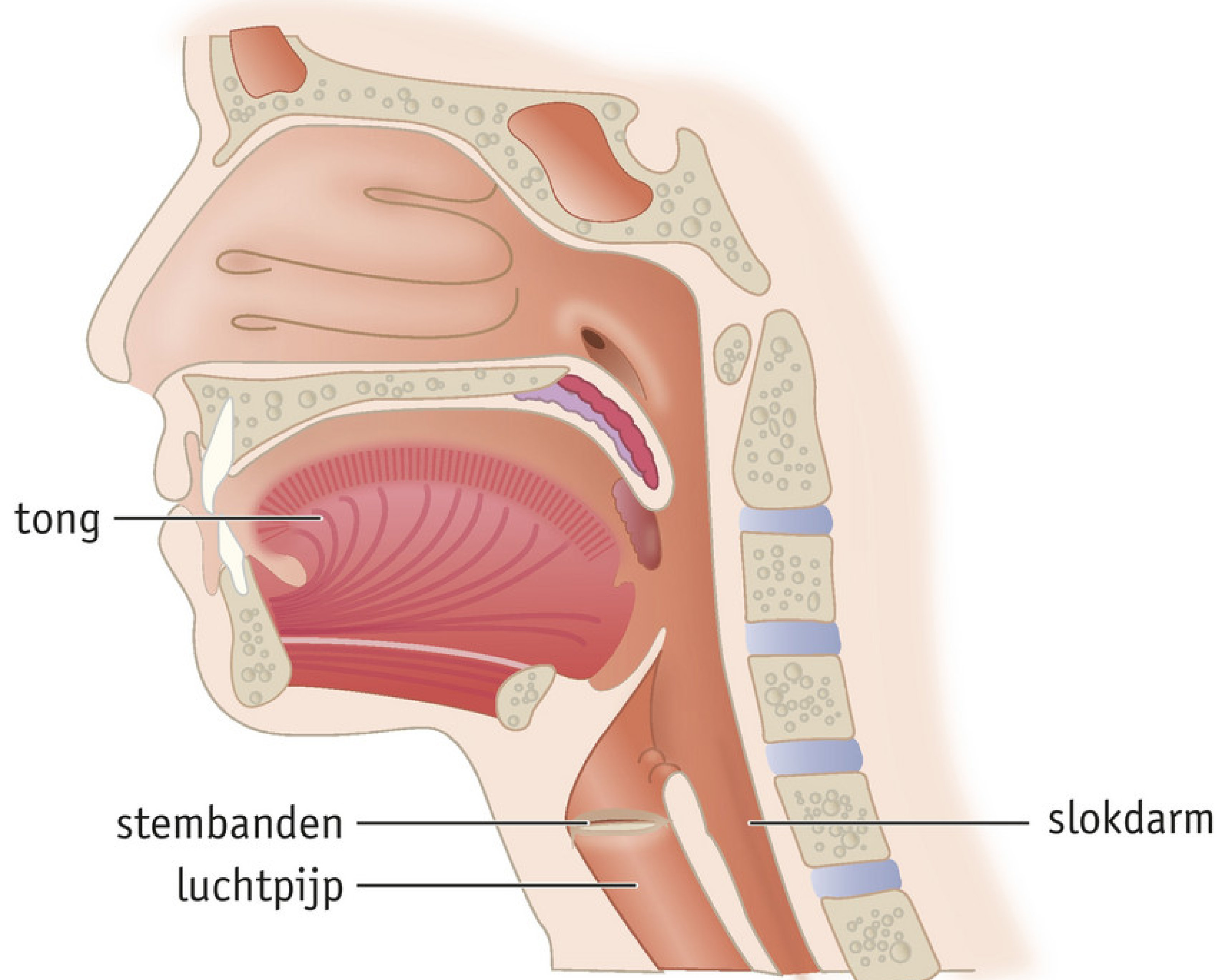
▶ **figuur 4**
het inwendige van je oor



Het trommelvlies trilt mee met de veranderingen in de luchtdruk. De gehoorbeentjes brengen de trillende beweging van het trommelvlies over op de vloeistof in het slakkenhuis. Daarbij wordt het geluid versterkt.

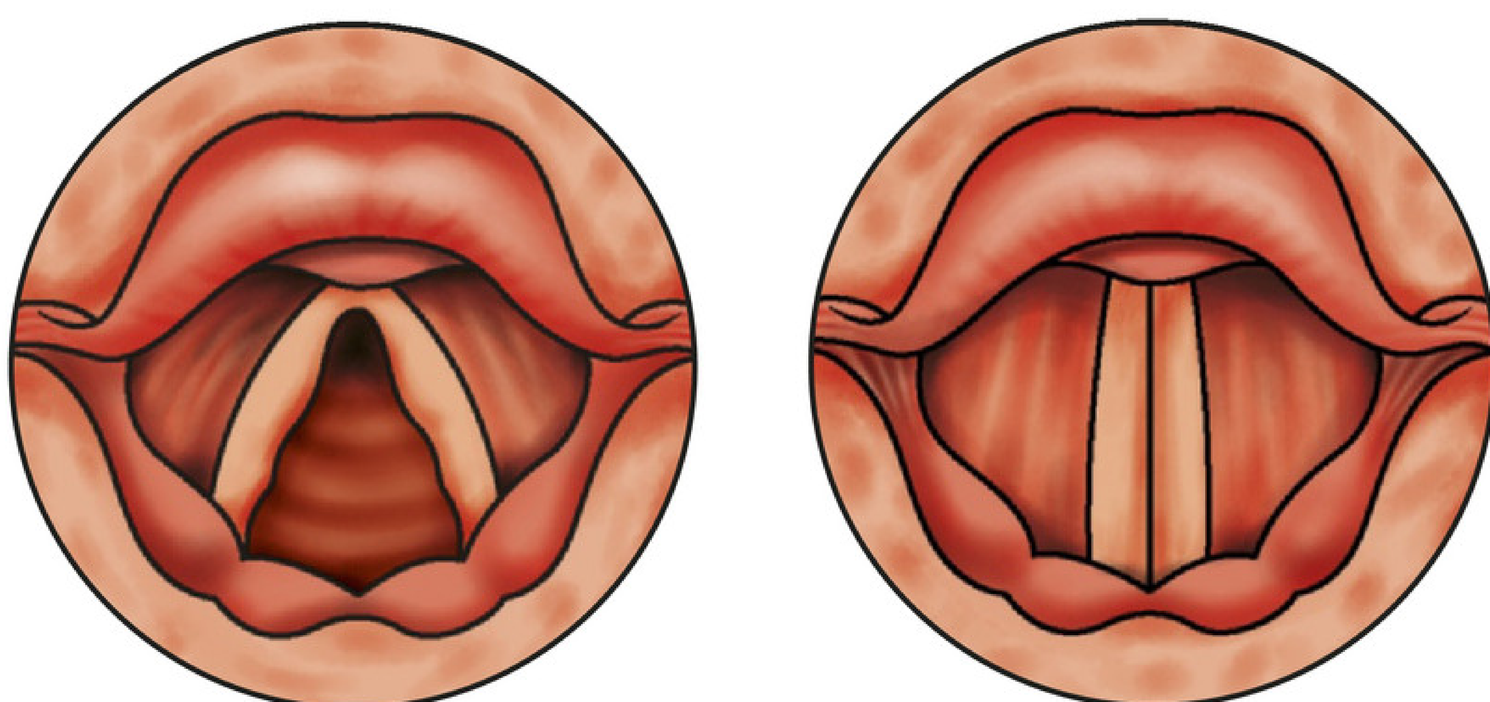
In het slakkenhuis worden de trillingen door de gehoorcellen vertaald in elektrische signalen. Deze signalen worden via de gehoorzenuw doorgegeven naar de hersenen. Pas als je hersenen die signalen ontvangen, word je je van het geluid bewust: je hoort het geluid.

▼ **figuur 5**
het menselijk spraakorgaan



De menselijke stem

Het ‘spraakorgaan’ van de mens bestaat uit de stembanden, de mond-, keel- en neusholte en de tong en lippen (figuur 5). Als je spreekt, sluiten je stembanden. Je longen persen dan lucht door de stemspleet: een smalle opening tussen je stembanden (figuur 6). Hierdoor beginnen je stembanden te trillen, zoals je kunt voelen als je een vinger op je keel legt.



Als je gewoon ademhaalt, staan de stembanden open.

Als je praat of zingt, zijn de stembanden gesloten.

◀ **figuur 6**
Zo werken je stembanden.

Met spiertjes kun je de spanning van je stembanden veranderen. Zo kun je de toonhoogte van je stem regelen. Door de vorm van je mondholte te veranderen, kun je het geluid van je stembanden vervormen. Zo maak je verschillende klinkers.

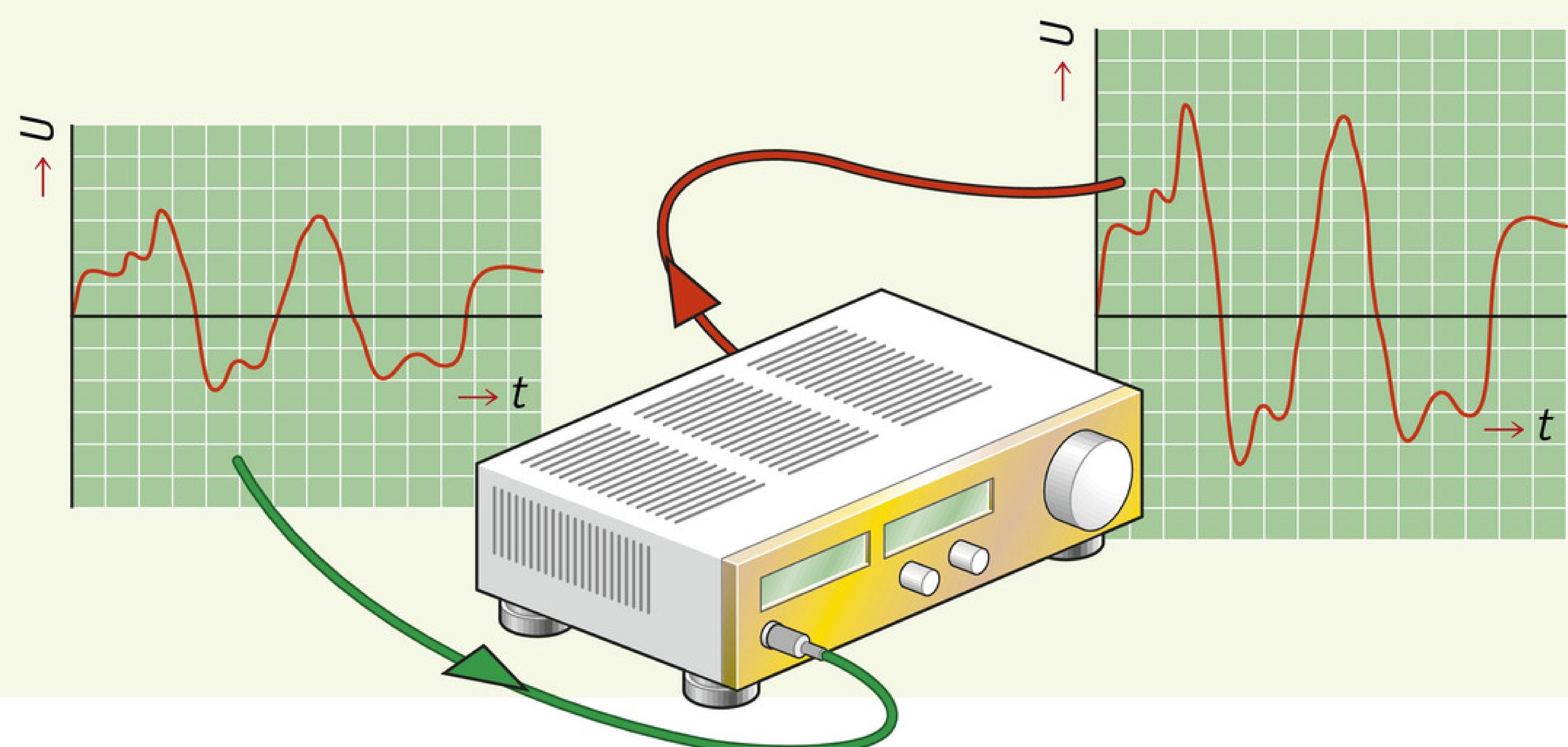
Plus Geluid versterken

Veel muziekinstrumenten gebruiken een trillende snaar als geluidsbron. Zo'n trillende snaar geeft een heel zacht geluid dat je bijna niet kunt horen. Dat geluid moet dus versterkt worden. Dat kan op verschillende manieren. Bij gitaren bijvoorbeeld zijn er akoestische (figuur 7) en elektrische gitaren.
Als je een snaar van een gitaar tussen twee spijkers op een plank zou spannen en je slaat hem aan, dan hoor je nauwelijks geluid. Maar als dezelfde snaar op een akoestische gitaar zit, klinkt hij veel harder. Blijkbaar versterkt de gitaar het geluid. Dat komt doordat de trillende snaren ook de kast van de gitaar en de lucht in die kast in trilling brengen. Het verschijnsel dat het ene voorwerp gaat meetrillen met een ander voorwerp heet **resonantie**. De **klankkast** is zo gebouwd dat hij veel verschillende toonhoogtes versterkt.
Door resonantie gaat er bij een akoestische gitaar veel meer lucht trillen dan bij een losse snaar: het geluid klinkt dus sterker. Via het ronde gat in de gitaar, het klankgat, gaan de geluidsgolven naar de oren van de gitarist en het publiek.



▲ **figuur 7**
het stemmen van een akoestische gitaar

Een elektrische gitaar heeft geen klankkast. Een microfoon zet de trilling van de snaar om in een elektrisch signaal. Dat wordt versterkt door een versterker en de versterkte signalen gaan naar een luidspreker. Het geluid klinkt dan harder dan wanneer de gitaar direct op de speaker zou zijn aangesloten (figuur 8).

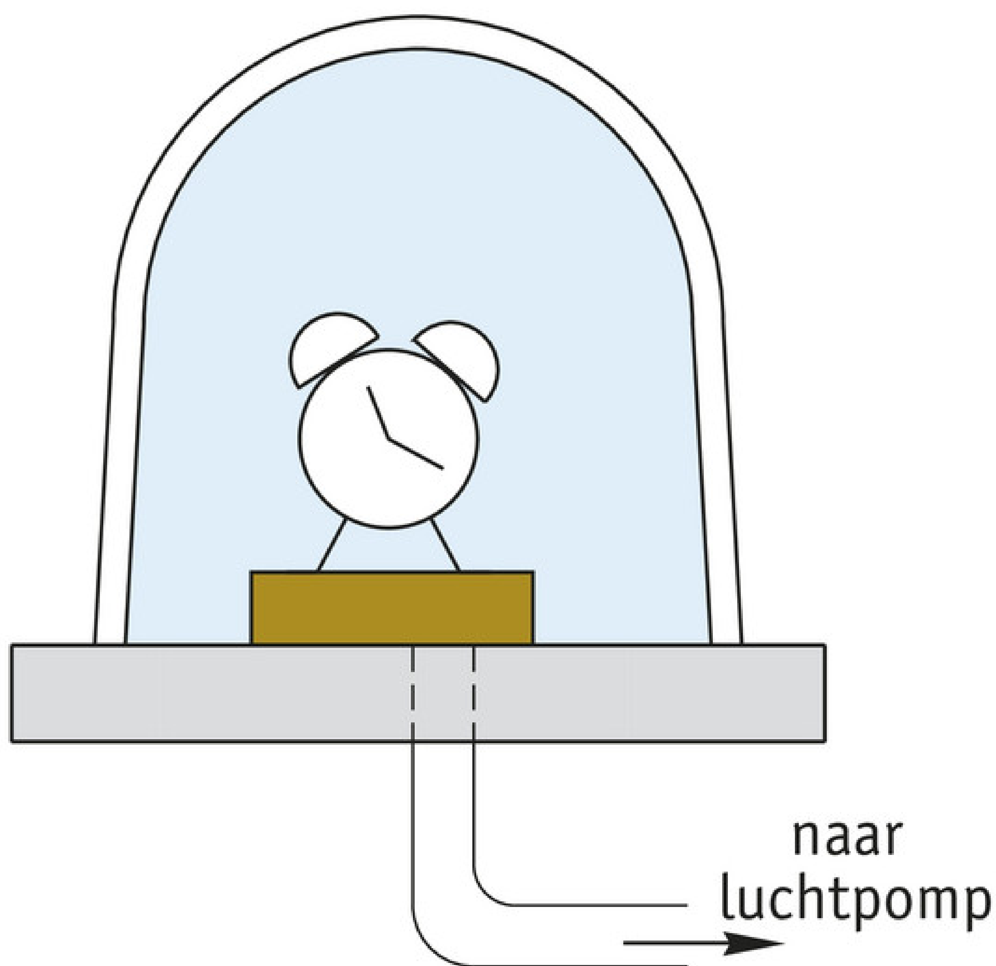


▶ **figuur 8**
Dit doet een versterker.

opgaven

1 Geluid wordt veroorzaakt door trillingen. Wat trilt er:
- **a** bij een trommel als je er een klap op geeft?
- **b** in een luidspreker als daar muziek uit komt?
- **c** in je keel als je aan het praten of zingen bent?

2 Een luidspreker is een voorbeeld van een geluidsbron.
- **a** Wat ontstaan er in de lucht als de conus begint te trillen?
- **b** Hoe verplaatst het geluid zich van de luidspreker naar je oren?
- **c** Welk deel van je oor gaat trillen als het geluid daar aankomt?
- **d** Waar in je oor worden de trillingen vertaald in elektrische signalen?
- **e** Het is mogelijk dat iemand goed werkende trommelvliezen heeft maar toch niets hoort.
  Hoe kan dit? Noem twee mogelijke oorzaken.

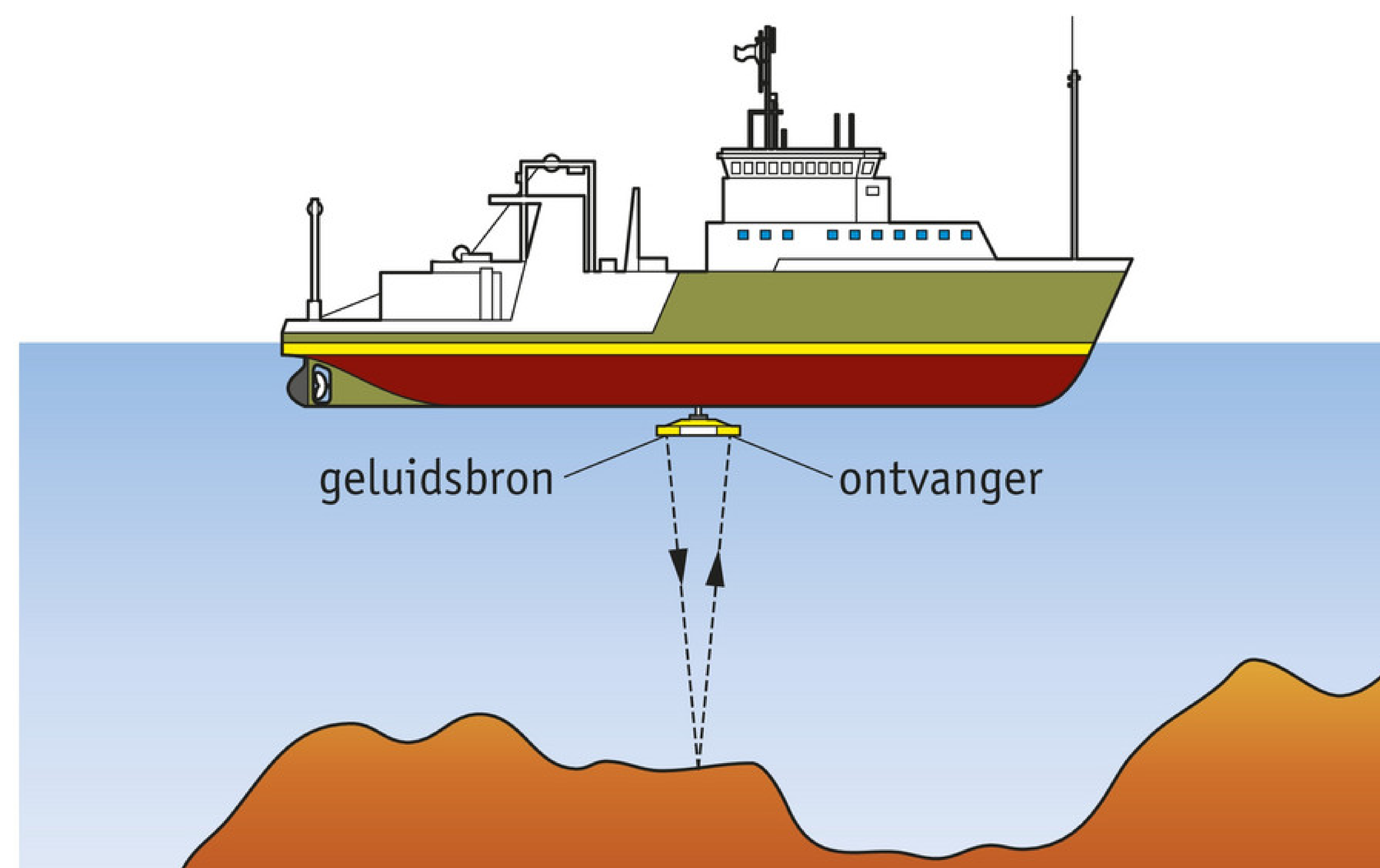


▲ **figuur 9**
een wekker onder een stolp

3 Hans maakt de opstelling die in figuur 9 getekend is. Hij laat de wekker rinkelen. Ondertussen pompt hij de lucht onder de stolp weg.
- **a** Hoe verandert het geluid dat Hans hoort?
- **b** Hoe komt dat?
- **c** Waarom heeft Hans de wekker op een stuk schuimrubber gezet?

4 Het onweert in de verte. Fatima ziet een bliksemflits. Acht seconden later hoort ze het geluid van het onweer.
- **a** Bereken hoe ver het onweer van Fatima verwijderd is. Geef je antwoord in km.
- **b** Is het licht van de bliksemflits ongeveer duizend keer of ongeveer een miljoen keer zo snel bij Fatima als het geluid?

***5** Een schip gebruikt geluid om de diepte van de zee te meten. Het zogenaamde sonarsysteem van het schip zendt een korte geluidspuls uit en vangt even later het teruggekaatste signaal (de echo) weer op. De computer van de sonar berekent dan de diepte. Bekijk figuur 10. Tussen het uitzenden van het geluid en het ontvangen van de echo zit 0,42 s.
- **a** Bereken hoe diep de zee is, in kilometers. Rond het antwoord af op twee cijfers achter de komma.
- **b** Bij vraag a ging je ervan uit dat de geluidspuls langs een verticale lijn omlaag gaat. In figuur 10 zie je dat het anders is.
  Is de zee in werkelijkheid dieper of minder diep dan het antwoord van vraag a?
- **c** Leg met tabel 1 uit waarom je een sonarsysteem voor op zee niet zomaar kunt gebruiken op een rivier.



▶ **figuur 10**
Hoe diep is de zee?

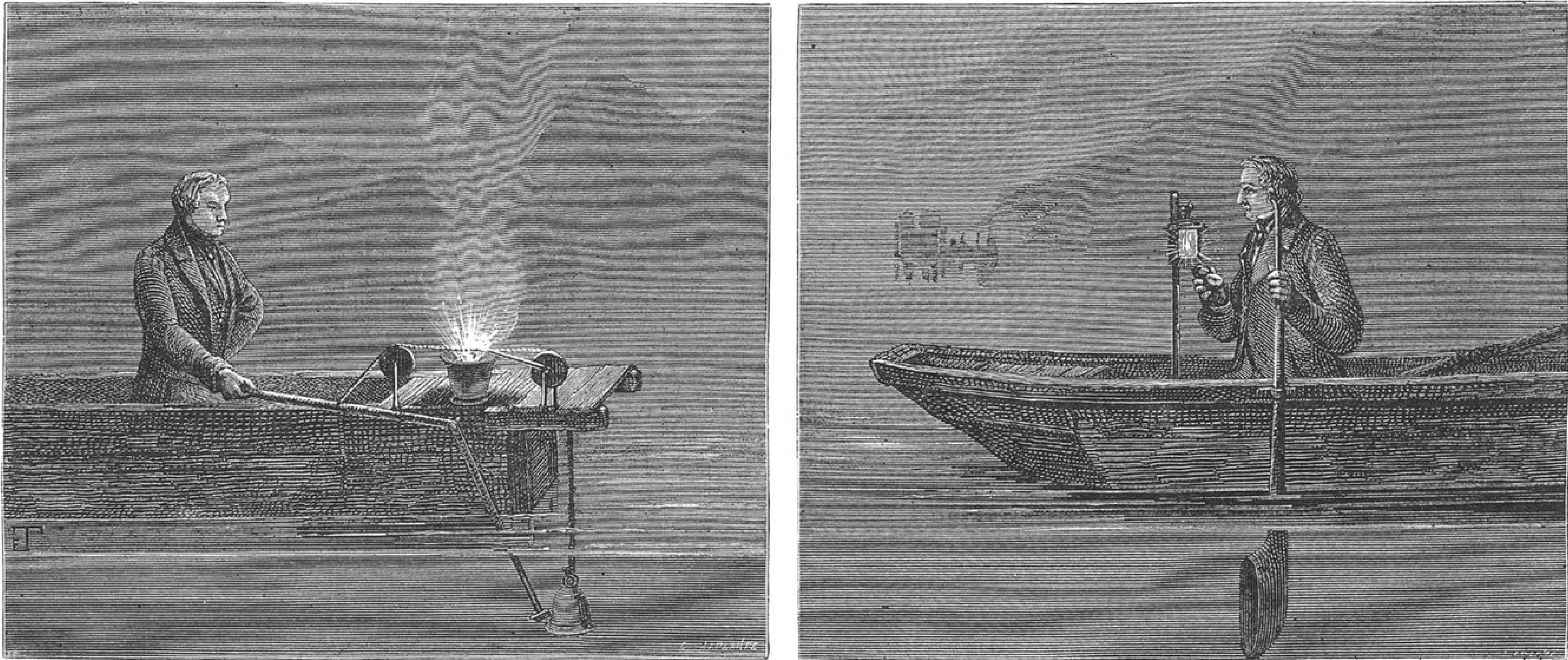
6 Een gebouw heeft betonnen muren van 50 cm dik. Aan de binnenkant van de muur zit een laag kurk van 10 cm dik. Fleur zit op 3 m van de muur. Aan de buitenkant klopt iemand tegen de muur.
Bereken hoe lang het geluid erover doet om Fleur te bereiken. Rond het antwoord af op twee cijfers achter de komma.

7 In 1827 bepaalden de natuurkundigen Colladon en Sturm op het meer van Genève de snelheid van geluid in water. Ze gebruikten een bel en een buis. Met de bel konden ze onder water geluid maken en met de buis konden ze onder water naar het geluid luisteren. Tegelijk met de tik op de bel werd er een lichtflits gegeven (figuur 11). Ze maten dat het geluid van de bel er 9,3 s over deed om een afstand van 13,4 km onder water af te leggen.

a Waarom hoefden ze geen rekening te houden met de tijd die het licht erover doet om hen te bereiken?
b Welke waarde vonden ze voor de geluidssnelheid in water?
c De geluidssnelheid hangt af van de temperatuur van het water. Hoe koud was het water van het meer ongeveer? Gebruik tabel 2.

▼ **tabel 2** de geluidssnelheid in water bij verschillende temperaturen

temperatuur water (°C)	geluidssnelheid (m/s)
0	1403
20	1484
40	1529
60	1540
80	1555



▶ **figuur 11** Colladon en Sturm aan het werk.

8 Je kijkt naar een sciencefictionfilm. In de film wordt een ruimteschip getroffen door het laserkanon van agressieve aliens. Het schip ontploft met een vreselijke knal.
Wat klopt hier niet?

9 Mensen kunnen met hun spraakorgaan allerlei geluiden maken.
Waar ontstaat het geluid:
a als je fluit?
b als je kucht?
c als je de klank ‘ssss’ maakt?
d als je de letters ‘ee’ uitspreekt?

10 Harmen is gefilmd tijdens een spreekbeurt. Als hij het filmpje bekijkt, is hij niet blij met wat hij hoort. “Mijn stem klinkt heel anders dan ik hem zelf hoor als ik praat”, moppert hij.
Hoe komt het dat je stem anders klinkt als je hem op een opname hoort?

***11** Als je heliumgas inademt en je praat daarna, dan klinkt je stem heel hoog. Je stem lijkt dan een beetje op die van Donald Duck.
Leg uit met welke eigenschap van helium dit te maken kan hebben.

***12** Er is een duidelijk verschil tussen de geluidssnelheid in vloeistoffen en die in gassen.
- **a** Welk verschil is dat? Gebruik tabel 1.
- **b** Verklaar dit verschil met het deeltjesmodel van hoofdstuk 3.
- **c** Geluid kan zich ook door water voortplanten. Waarom is het dan toch zo dat je elkaar onder water slecht kunt verstaan?

Plus Geluid versterken

13 Veel muziekinstrumenten hebben een klankkast.
- **a** Noem drie instrumenten met een klankkast.
- **b** Wat is de functie van een klankkast?
- **c** Leg uit hoe een klankkast ‘werkt’.
- **d** Mensen hebben ook een klankkast.
  Welk onderdeel van mensen werkt als klankkast?
- **e** Hoe kun je met je handen een extra ‘natuurlijke klankkast’ vormen om je stem nog harder te laten klinken?

14 Bij een concert met elektrische gitaren is een versterker nodig.
- **a** Waarom is dat zo?
- **b** Maak een schets van wat er gebeurt met een elektrisch signaal dat naar een versterker gaat.

15 Resonantie is een verschijnsel dat opmerkelijke en vervelende gevolgen kan hebben.
- **a** Wat is resonantie?
- **b** Bij een oude auto begint een bepaald onderdeel erg te rammelen bij één bepaalde snelheid. Leg uit hoe dat komt.

2 Toonhoogte en frequentie

Als je een geluid wilt beschrijven, kun je verschillende woorden gebruiken. Vaak hebben die woorden met de toonhoogte te maken. Je kunt bijvoorbeeld zeggen dat een kapotte luidspreker piept (een hoge toon maakt), bromt (een lage toon maakt) of zoemt (tussen hoog en laag in). Blijkbaar is de toonhoogte een belangrijke eigenschap van het geluid.

Snaarinstrumenten Proef 3

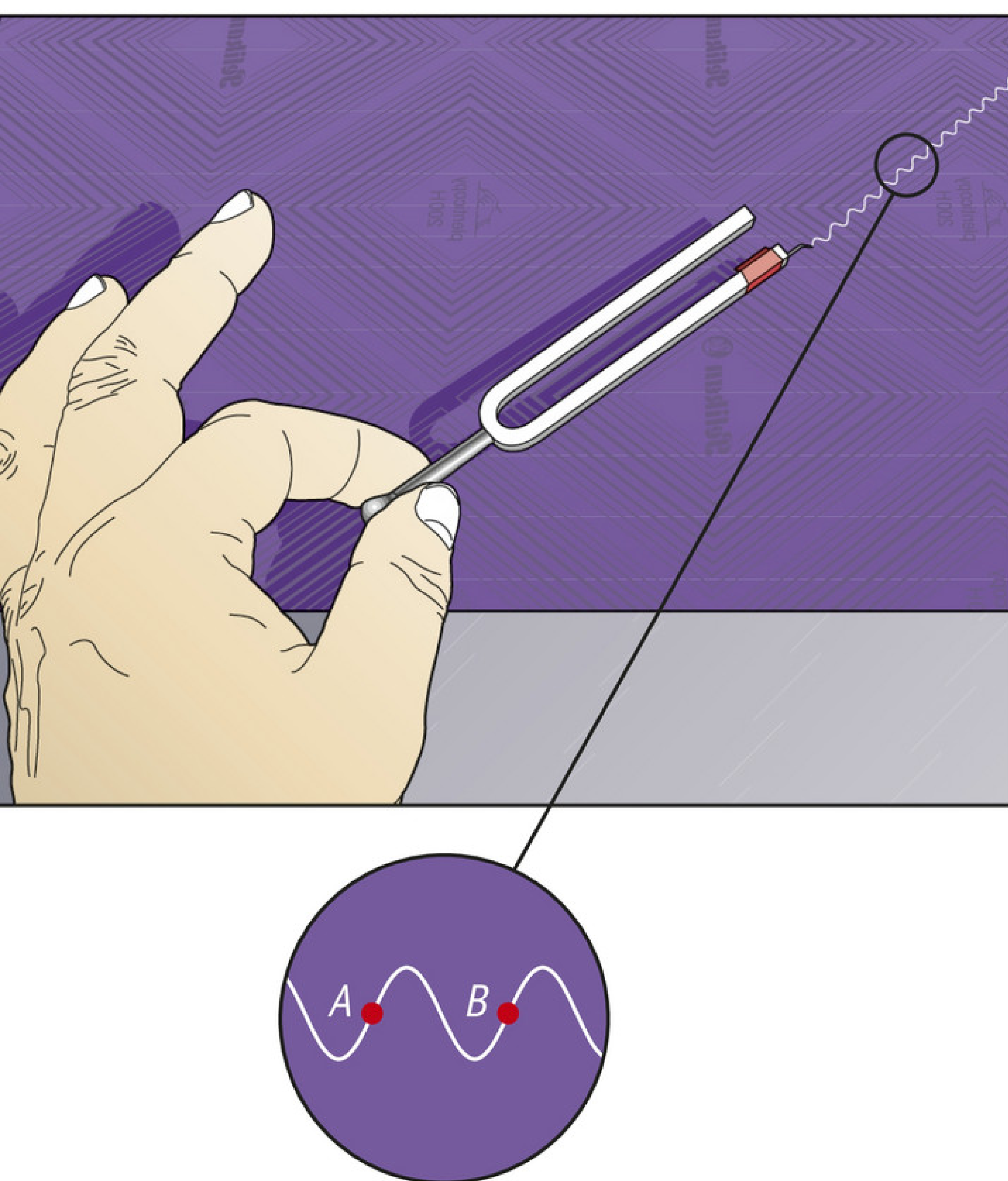
Snaren worden gebruikt in allerlei muziekinstrumenten. Een viool heeft bijvoorbeeld vier snaren, een gitaar heeft er zes en een piano heeft er meer dan tweehonderd. Als je zo'n snaar in trilling brengt, geeft hij een toon: een geluid met een bepaalde toonhoogte.

De hoogte van de toon die een snaar produceert, hangt af van drie factoren:
1 de **dikte** van de snaar: hoe dikker de snaar, des te lager de toon.
2 de **lengte** van de snaar: hoe langer de snaar, des te lager de toon.
3 de **spanning** van de snaar: hoe lager de spanning, des te lager de toon.

Een snaarinstrument wordt **gestemd** door de snaren de juiste spanning te geven. Voor het bepalen van de juiste toonhoogte kun je een stemvork of een elektronisch stemapparaat gebruiken.

Frequentie Proef 4

Een stemvork is een metalen 'vork' met twee stevige 'benen'. Als je een tik geeft tegen een stemvork, gaan de 'benen' (onzichtbaar) trillen. Ze bewegen in één seconde steeds even vaak heen en weer. Je kunt deze beweging onderzoeken met een stemvork met een scherp haakje (schrijfstift). Je slaat de stemvork aan en trekt de punt van het haakje over een glasplaat met een laagje roet. Je ziet dan een golfspoor ontstaan.



▲ **figuur 12**
Zo kun je de trilling van een stemvork zichtbaar maken.

In figuur 12 zie je een stukje van zo'n golfspoor. Tussen A en B heeft het been waaraan het haakje zit één volledige trilling uitgevoerd. Als je de stemvork met het haakje precies één seconde over de glasplaat trekt, zie je een groot aantal trillingen. Als je ze telt, weet je hoe groot het aantal trillingen per seconde is. Dit is de **frequentie** f van de trilling. De f komt van het Latijnse *frequens* = talrijk, druk bezocht of herhaaldelijk.

De frequentie wordt gemeten in hertz (Hz). Als de frequentie 128 Hz is, bewegen de benen van de stemvork 128 keer per seconde heen en weer. Hoe hoger de frequentie, des te hoger de toon die je hoort. Een stemvork van 440 Hz geeft bijvoorbeeld een hogere toon dan een stemvork van 128 Hz.

Trillingstijd en golflengte Proef 5

Met de opstelling van figuur 13 kun je geluidsgolven onderzoeken. De **microfoon** 'vertaalt' de drukveranderingen in de lucht in een elektrisch signaal. De oscilloscoop (van het Latijnse *oscillare* = schommelen) geeft dit signaal vervolgens op het scherm weer. Er zijn ook programma's die van je computer, tablet of smartphone een oscilloscoop maken.

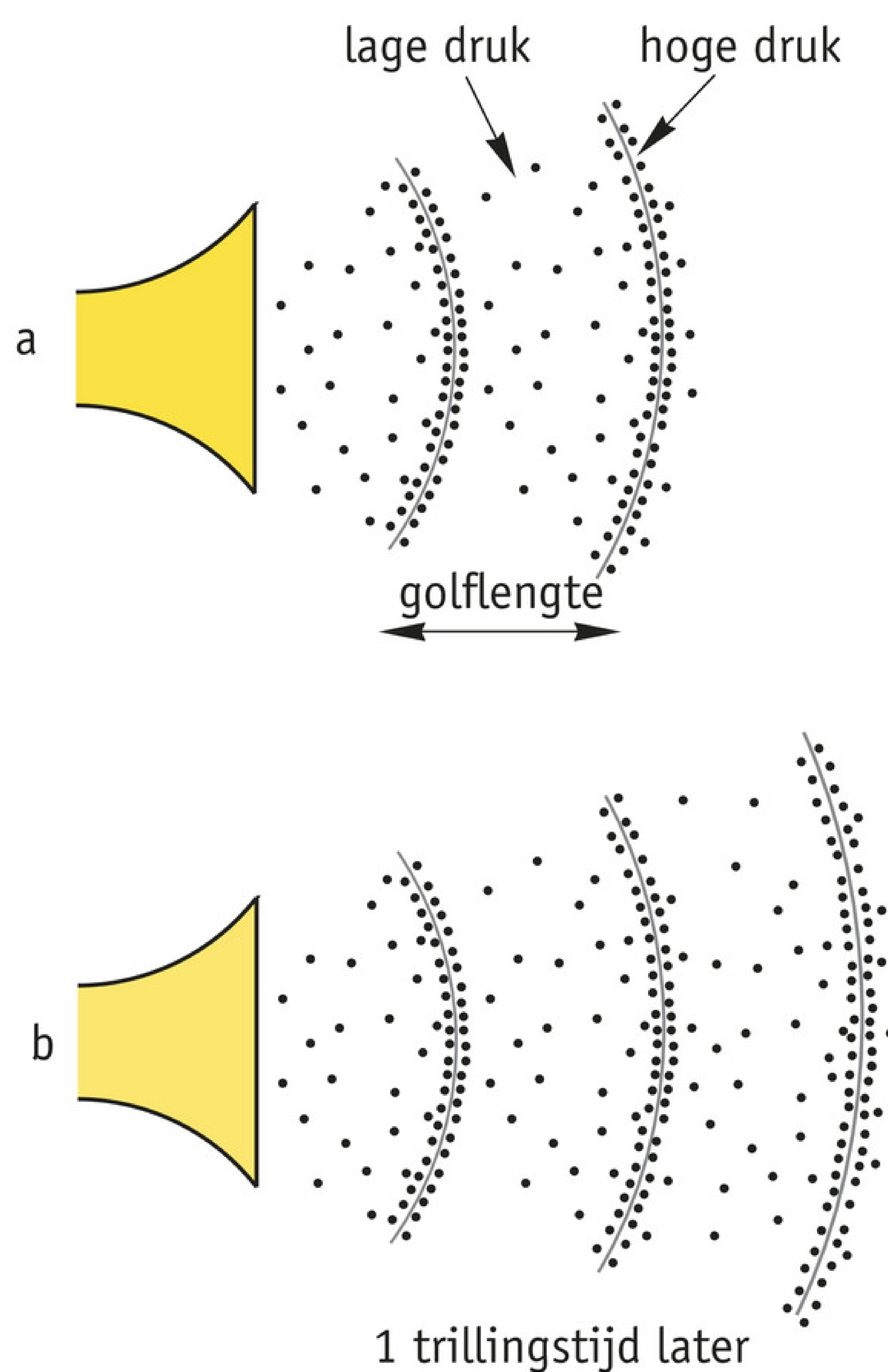


▶ **figuur 13**
Zo kun je de trillingstijd van een stemvork bepalen.

Op het scherm van de oscilloscoop is een assenstelsel aangebracht. Langs de horizontale as is de tijd uitgezet. Met een knop op de oscilloscoop kun je de tijdschaal instellen. Dat heet: een **tijdbasis** kiezen. In figuur 13 is de tijdbasis ingesteld op 1 ms/div. Dat betekent dat elk vakje één milliseconde 'breed' is.

De vier hele trillingen op het scherm van de oscilloscoop nemen samen negen vakjes. De vier trillingen duren dus in totaal 9 ms. Dat betekent dat er voor één trilling 9 : 4 = 2,25 ms nodig is. De tijd die voor één volledige trilling nodig is, wordt de **trillingstijd** (*T*) genoemd. Voor de stemvork in figuur 13 geldt dus: T = 2,25 ms.

In één trillingstijd gaat de conus van een luidspreker dus één keer naar voren en één keer naar achteren. De luidspreker produceert zo eerst een gebied met hogere druk en daarna een met lagere druk.



▲ **figuur 14**
a geluidsgolven die worden veroorzaakt door een trompet
b dezelfde geluidsgolven, maar dan een korte tijd later

Die golf verspreidt zich dan in de ruimte. De lengte van een gebied met hogere druk en met lagere druk samen is de **golflengte** (figuur 14). Symbool voor de golflengte is de Griekse letter lambda λ. Bij een lage toon is die golflengte groter dan bij een hoge toon. Een hoge toon heeft dus een hoge frequentie en een kleine golflengte.

Trillingstijd en frequentie

Als je de trillingstijd kent, kun je de frequentie berekenen. Als de trillingstijd 0,1 seconde is, gaan er 10 trillingen in 1 s. De frequentie is dan 10 Hz. Als de trillingstijd 0,01 s is, gaan er 100 trillingen in 1 s. De frequentie is dan 100 Hz. Enzovoort.

Je kunt de frequentie dus uitrekenen met de formule:

$$\text{frequentie} = \frac{1}{\text{trillingstijd}}$$

Of in symbolen:

$$f = \frac{1}{T}$$

Als je de trillingstijd T invult in seconde, vind je de frequentie f in hertz (Hz).

Voorbeeldopgave 2
Bereken de frequentie van de stemvork in figuur 13.

gegevens T = 2,25 ms = 0,00225 s

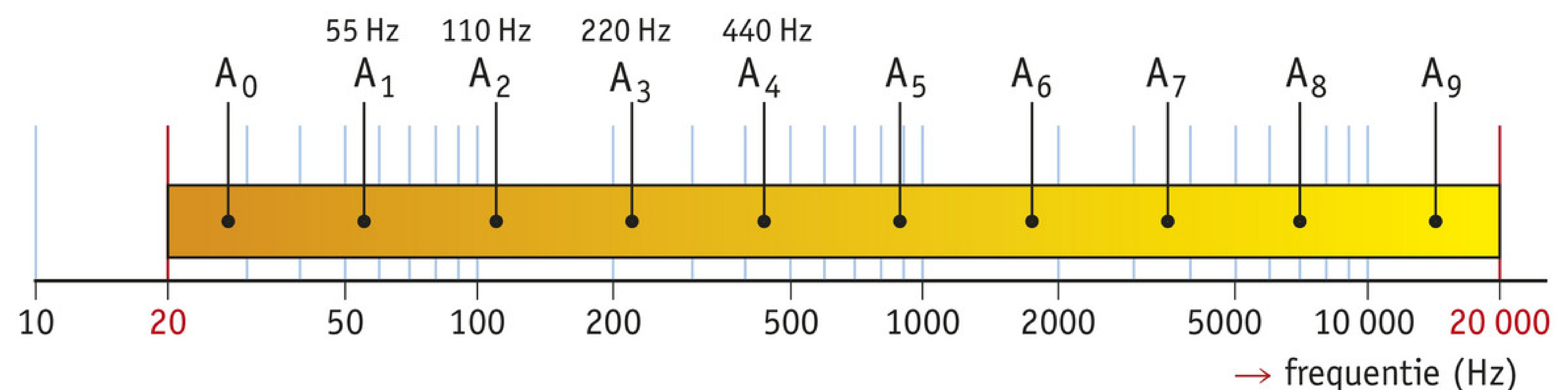
gevraagd f = ?

uitwerking $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}00225} = 444$ Hz

Het frequentiebereik van je gehoor

Als je de A-snaar van een gitaar aanslaat, hoor je een vrij lage bastoon van 110 Hz. Deze toon noem je een A. Als je daarna een toon van 220 Hz speelt, hoor je weer een A. Al is deze A hoger, voor je gevoel is het toch dezelfde toon. Je zegt dat deze toon een octaaf hoger is dan de eerste. Speel je daarna een toon van 440 Hz, dan hoor je weer een A: één octaaf hoger dan de A van 220 Hz en twee octaven hoger dan de A van 110 Hz.

Voor elke toon geldt: als je de frequentie verdubbelt, krijg je dezelfde toon weer terug, maar dan één octaaf hoger. Daarom worden frequenties vaak weergegeven op een speciale schaal (figuur 15). Op deze schaal heeft een octaaf steeds dezelfde lengte. De afstand tussen 110 Hz en 220 Hz is dus even groot als de afstand tussen 220 Hz en 440 Hz, of tussen 440 Hz en 880 Hz.



▶ **figuur 15**
het frequentiebereik van het menselijk gehoor

Geluiden met een heel hoge of een heel lage frequentie kun je niet horen. De meeste mensen van jouw leeftijd horen tonen tussen 20 en 20 000 Hz. Je zegt dat deze tonen binnen het **frequentiebereik** van je gehoor liggen. Als je ouder wordt, verandert het frequentiebereik van je gehoor. Vooral hoge tonen kun je dan minder goed horen.

Ultrasoon geluid

Geluid met een frequentie hoger dan 20 000 Hz wordt **ultrasoon** geluid genoemd (van het Latijnse *ultra* = aan de andere kant, of verder dan; *sonus* = geluid). Mensen kunnen dit geluid niet horen, maar sommige diersoorten wel. Honden horen bijvoorbeeld zonder moeite een ultrasone fluittoon van 35 000 Hz. Vleermuizen en dolfijnen maken regelmatig ultrasone geluiden. Door te luisteren naar de echo's van deze geluiden kunnen ze hun omgeving waarnemen. Vleermuizen sporen op deze manier insecten op (figuur 16).
In ziekenhuizen wordt ultrasoon geluid gebruikt om echo's te maken, waarmee je bijvoorbeeld bij een zwangere vrouw het kind in de baarmoeder kunt zien.

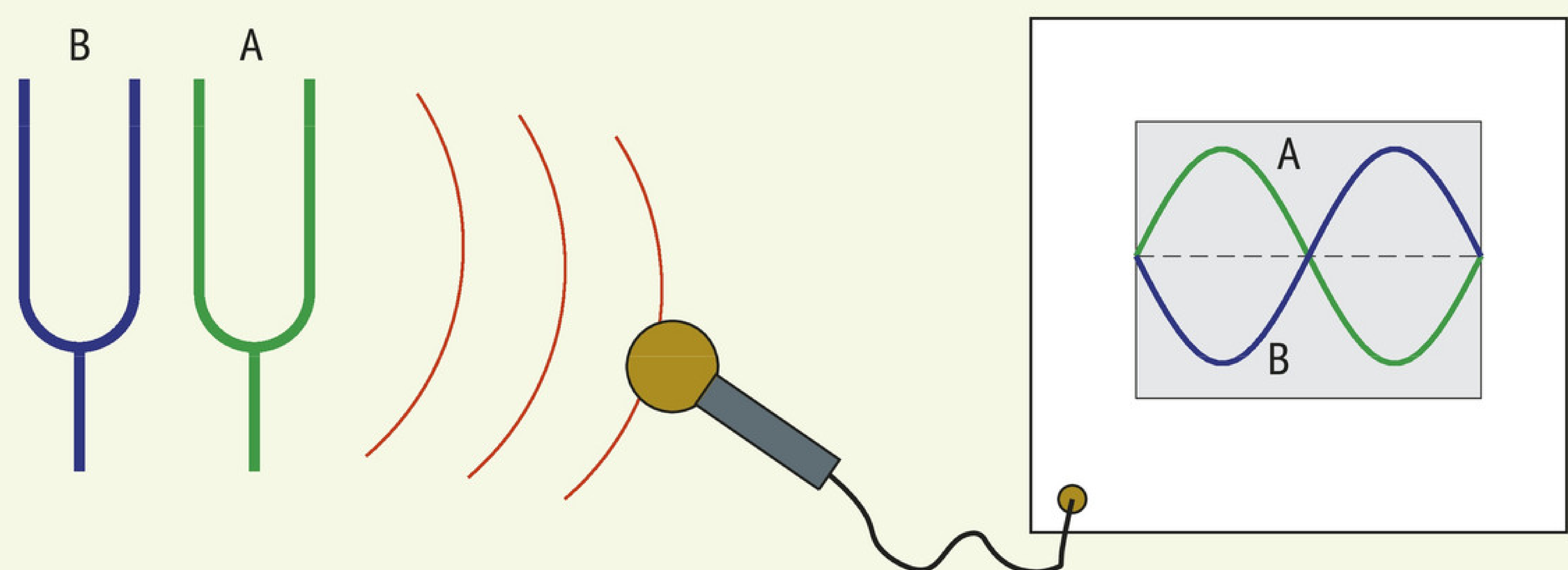


▶ **figuur 16**
Een vleermuis jaagt met behulp van geluid.

In het lab of in de industrie wordt ultrasoon geluid gebruikt om (metalen) voorwerpen schoon te maken. De geluidsgolven gaan hierbij door een bak met water waarin die voorwerpen liggen. Tandartsen gebruiken ultrasoon geluid bij een wortelkanaalbehandeling of om tandsteen te verwijderen. Vliegtuigmonteurs kunnen met dit geluid scheurtjes in vliegtuigonderdelen opsporen.

Plus Antigeluid

Een geluidsgolf kun je vergelijken met een watergolf. Bedenk nu wat er gebeurt als er (water)golven van twee bronnen op één plaats samenkomen. Dan is het mogelijk dat er een berg van de ene bron en een dal van de andere bron op die plaats samenkomen. Ze heffen elkaar dan op en het water blijft vlak. Zoiets kan ook met geluid.
Stel dat je twee identieke stemvorken hebt die op een verschillende afstand van je oor staan. Als je de afstanden goed kiest is het mogelijk dat er een hogere druk van de ene stemvork bij je oor aankomt en, op hetzelfde moment, een lagere druk van de andere stemvork. Die twee heffen elkaar dan op en je hoort niets! Met geluid kun je geluid dus laten verdwijnen. Deze kennis kun je gebruiken om geluidsoverlast tegen te gaan. Als je een hinderlijke geluidsbron hebt, dan kun je 'antigeluid' maken om iets tegen die overlast te doen. Bij een stemvork is dat eenvoudig omdat die een zuivere toon geeft. Maar de meeste geluidsbronnen produceren geluid met allerlei frequenties tegelijk. Dan is het maken van het juiste antigeluid lastig. Toch lukt dat steeds beter, als het geluid maar regelmatig is. Koptelefoons bijvoorbeeld vangen het geluid van buiten op en produceren razendsnel antigeluid om dat geluid te verminderen. Dat werkt inmiddels redelijk goed.



▶ **figuur 17**
De geluidsgolven van twee stemvorken kunnen elkaar uitdempen.

opgaven

16 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Wat wordt bedoeld met 'de frequentie van een trilling'?
- **b** Wat wordt bedoeld met 'het frequentiebereik van je gehoor'?
- **c** Wat is het frequentiebereik van jonge mensen met een gewoon gehoor?

17 Neem tabel 3 over en vul deze verder in.

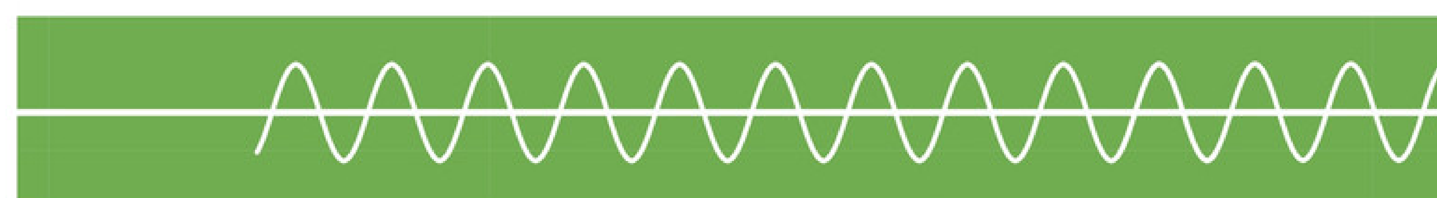
▼ **tabel 3** grootheden en eenheden

grootheid	symbool van de grootheid	eenheid	symbool van de eenheid
			Hz
	T		
golflengte			

18 Hoe verandert de toonhoogte van een gitaarsnaar als de gitarist:
a de snaar minder strak spant?
b de snaar korter maakt door zijn vinger op de snaar te zetten?

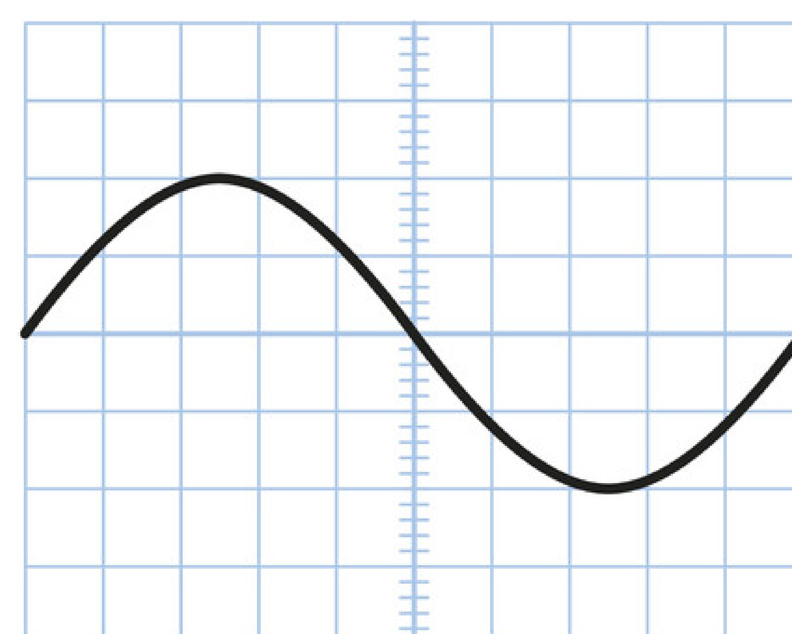
19 Er zijn allerlei soorten snaarinstrumenten.
a Wat is het verband tussen de grootte van een snaarinstrument en de hoogte van de tonen die je ermee kunt maken?
b Noteer twee instrumenten waarbij je het verband van vraag a duidelijk kunt zien en horen.
c Op veel snaarinstrumenten zijn alle snaren even lang. Toch klinkt de ene snaar lager dan de andere.
Schrijf twee mogelijke oorzaken op.

20 Kursat heeft een naald die aan een trillende stemvork vastzat, over een beroete glasplaat getrokken. In figuur 18 is een stukje van de glasplaat op ware grootte afgebeeld. De frequentie van de stemvork is 80 Hz.
a Hoeveel trillingen zijn er op de glasplaat te zien?
b In hoeveel tijd is dit stukje golfspoor getekend?
c Hoe lang is het golfspoor dat in figuur 18 te zien is?
d Bereken met welke snelheid de stemvork over de glasplaat getrokken is.



▶ **figuur 18**
het golfspoor van een stemvork

21 Sanne bekijkt twee tonen op een oscilloscoop, met dezelfde tijdbasis. In figuur 19 zie je hoe de oscilloscoop de eerste toon weergeeft.
De tweede toon is één octaaf hoger dan de eerste. Neem figuur 19 over en schets hoe de oscilloscoop deze toon weergeeft.



▶ **figuur 19**
Hoe ziet een toon eruit die één octaaf hoger is?

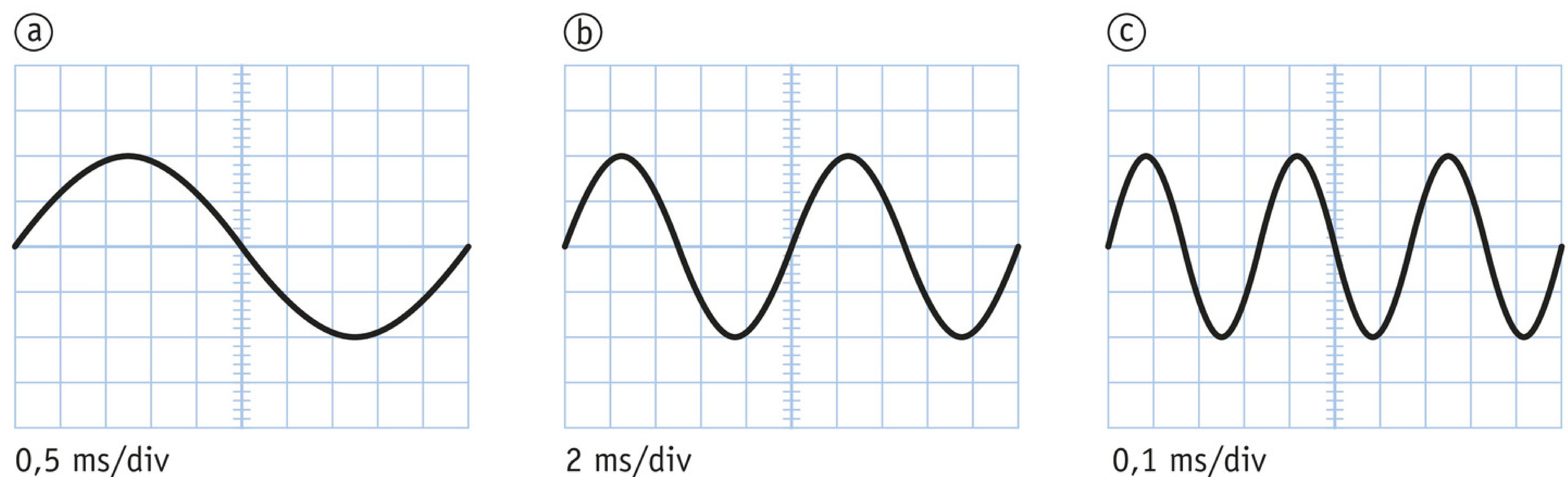
22 Zie vaardigheid 11 achter in het boek.
Op een oscilloscoop worden achtereenvolgens drie tonen afgebeeld: a, b en c (zie figuur 20). Bij de schermen staat steeds de tijdbasis vermeld.

a Zie figuur 20a. Neem over en vul in:
Elk vakje op het scherm staat voor … ms.
Eén volledige trilling is … vakjes breed.
De trillingstijd is dus … × … ms = … ms.

b Bepaal op dezelfde manier de trillingstijd van de tonen b en c.

c Bereken de frequenties van de tonen a, b en c.

d Welk oscilloscoopbeeld laat een hoge pieptoon zien?

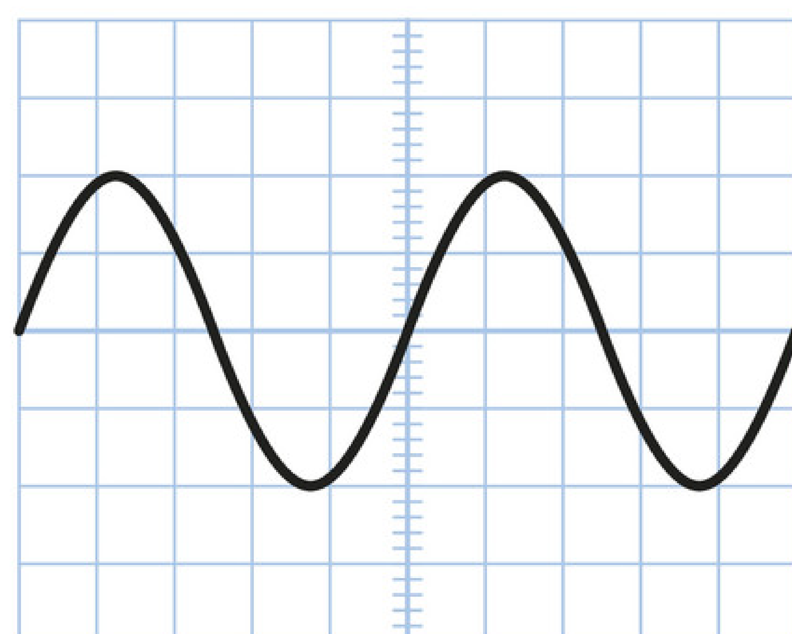


▶ **figuur 20** drie verschillende tonen op een oscilloscoopscherm

23 Bert test een geluidsinstallatie met verschillende testtonen. In figuur 21 zie je hoe een oscilloscoop een van de testtonen weergeeft. De tijdbasis is ingesteld op 0,2 ms/div.

a Bepaal de frequentie van deze testtoon.

b Hoeveel trillingen zal Bert op het scherm zien als hij de tijdbasis instelt op 1,0 ms/div?



▲ **figuur 21** het oscilloscoopbeeld van Bert

24 Neem over en vul in:
f = 50 Hz; T = … s
f = 440 Hz; T = … ms
T = 50 ms; f = … Hz
T = 0,25 ms; f = … kHz

***25** In figuur 14 zie je dat de voorste golf in één trillingstijd een afstand van één golflengte aflegt.

a Geef de formule voor de snelheid van een bewegend voorwerp uit hoofdstuk 6.

b 'Vertaal' deze formule naar een formule voor de geluidssnelheid:
v_{geluid} = …

c Gebruik de formule van b om de golflengte te berekenen van een toon van 100 Hz in lucht.

26 Op plaatsen waar hangjongeren vaak voor overlast zorgen, worden soms kastjes opgehangen die een irritant, permanent geluid maken. Oudere mensen horen dat geluid niet.

a Leg uit of deze kastjes ultrasoon geluid produceren of niet.

b Hoe komt het dat oudere mensen geen last hebben van het geluid uit deze kastjes?

Plus Antigeluid

27 Al jaren wordt geprobeerd antigeluid toe te passen.

a Geef twee voorbeelden van het gebruik van antigeluid.

b Laat met een schets zien wat er gebeurt als er antigeluid bij een geluidsbron wordt toegepast.

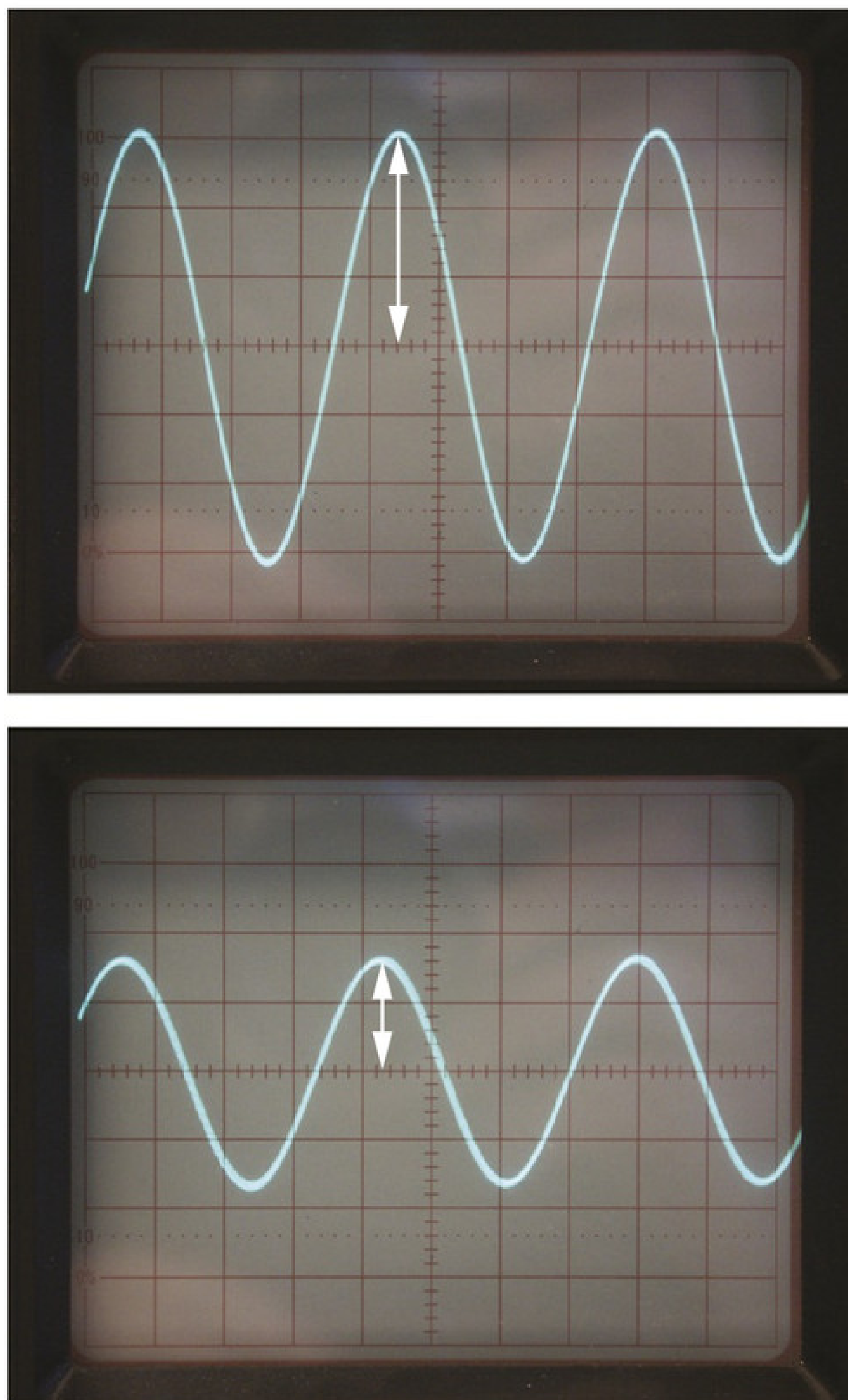
28 Antigeluid wordt al met succes toegepast.

a Waarom werkt antigeluid goed bij vliegtuigen met propellers?

b Leg uit wat het doel is van koptelefoons met een antigeluidsysteem.

c Waarom werken deze koptelefoons vooral goed als het omgevingsgeluid steeds ongeveer hetzelfde is?

3 Geluidssterkte



▲ figuur 22
de amplitude bij een luide en die bij een zachte toon

Het geluid in een disco of bij een popconcert staat soms zo hard dat je het geluid letterlijk kunt voelen. Als je er te lang blijft, kun je blijvende gehoorschade krijgen. Vooral de bastonen kunnen doordreunen tot in je maag. Daardoor kunnen ook dove mensen op de maat meedansen.

De amplitude van een trilling

Als een basluidspreker het geluid van een basgitaar of van een drum weergeeft, kun je de conus zien trillen. Die trilling wordt heviger als je het geluid harder zet. De drukveranderingen in de lucht worden daardoor ook groter.

In figuur 22 zie je twee oscilloscoopschermen. Op de bovenste foto zie je een luide toon, op de onderste een zachte toon. In deze figuur is de **amplitude** (van het Latijnse *amplitudo* = grote omvang) van de trillingen aangegeven: de maximale uitwijking ten opzichte van de nullijn in het midden. Als de geluidssterkte groter wordt, neemt de amplitude toe. Als het geluid weggestorven is, is de amplitude nul geworden.

De decibelschaal

De **geluidssterkte** heeft als eenheid de decibel (dB). In tabel 4 zie je hoe groot de geluidssterkte in verschillende situaties is. Een toon met een frequentie van 1000 Hz en een geluidssterkte van 0 dB kun je net niet horen (of net wel, als je heel goede oren hebt). 0 dB betekent dus niet dat er helemaal geen geluid is.
Het apparaat waarmee je de geluidssterkte meet, wordt een geluidssterktemeter of **decibelmeter** genoemd (figuur 23). Decibelmeters worden bijvoorbeeld gebruikt door arbo-medewerkers die controleren of het geluid in bedrijven niet boven de wettelijke norm komt. ‘Arbo’ staat voor arbeidsomstandigheden. In de Arbowet staan regels over veilig en gezond werken.

Omdat de gevoeligheid van je oren niet hetzelfde is voor alle frequenties, hebben de meeste decibelmeters een **A-filter**. Dit filter maakt de meter minder gevoelig voor lage en erg hoge frequenties. Zo kan de meter de geluidssterkte nabootsen zoals we die met onze oren waarnemen. Als je het A-filter gebruikt, moet je de geluidssterkte opgeven met de eenheid dB(A).



▲ figuur 23
een decibelmeter

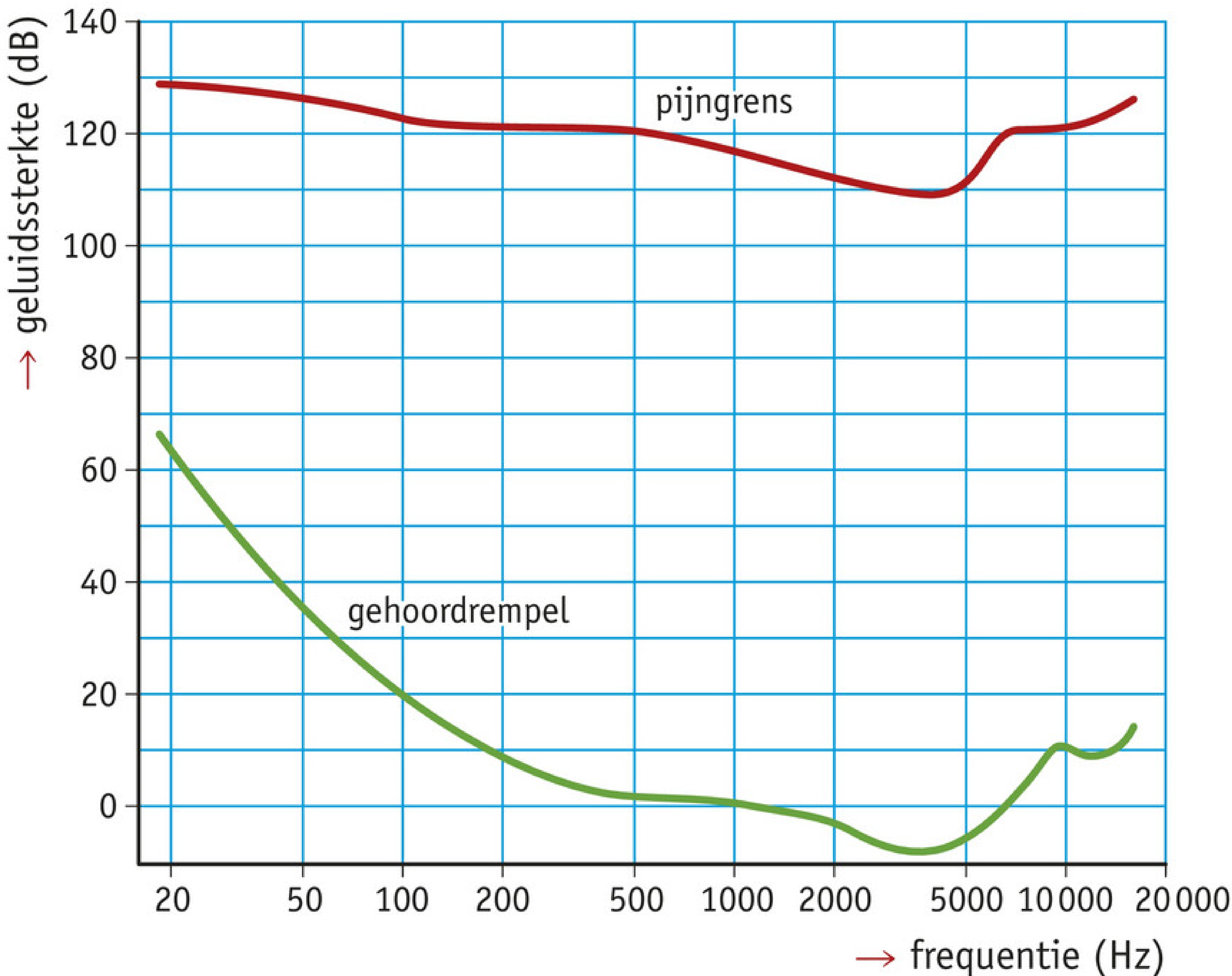
Bij tonen tussen de 500 en 10 000 Hz verschillen de dB(A)-schaal en de dB-schaal nauwelijks van elkaar. Je oren zijn voor deze frequenties het gevoeligst. Dit zijn de frequenties die belangrijk zijn om spraak te verstaan. Maar bij lage en heel hoge tonen is de geluidssterkte in dB(A) lager dan de geluidssterkte in dB. Bij metingen om geluidshinder vast te stellen, wordt de dB(A)-schaal gebruikt, ook door de arbocontroleurs.

▼ **tabel 4** de geluidssterkte in verschillende situaties

voorbeeld	geluidssterkte (dB)
pijngrens: straalmotor op 25 m	140
startend straalvliegtuig op 50 m	130
toeterende auto op 2 m	120
betonboor op 1 m	110
helikopter op 30 m	100
passerende trein op 25 m	90
passerende bromfiets op 7,5 m	80
stofzuiger op 1 m	70
klas aan het werk	60
woonstraat overdag	50
koelkast op 1 m	40
fluisterende leerling	30
ruisende bladeren	20
ademende leerling	10
gehoordrempel	0

Gehoordrempel en pijngrens

Onze oren zijn niet voor alle frequenties even gevoelig. Dat blijkt uit de grafiek van figuur 24. In deze grafiek is de **gehoordrempel** ingetekend. Dit is de geluidssterkte waarbij je het geluid net begint te horen. Je ziet dat deze gehoordrempel voor veel frequenties hoger ligt dan 0 dB.



▶ **figuur 24**
de pijngrens en de gehoordrempel

Uit de grafiek blijkt dat je gehoor het gevoeligst is voor de tonen in het midden van je frequentiebereik, zo rond de 4000 Hz. Voor lage en erg hoge tonen is je gehoor lang niet zo gevoelig. Deze tonen lijken daardoor minder sterk dan ze in werkelijkheid zijn. Ook de **pijngrens** – de geluidssterkte waarbij je oren pijn beginnen te doen – ligt niet voor alle frequenties even hoog.

Rekenen met decibellen

Als het aantal geluidsbronnen verdubbelt, wordt het geluid niet twee keer zo luid. Dat merk je als je de geluidssterkte in het muzieklokaal meet. Als één leerling zingt, schommelt de geluidssterkte rond 55 dB. Maar als er 32 leerlingen tegelijk zingen, wordt de (gemiddelde) geluidssterkte niet 32× zo groot. Je meet 'slechts' een geluidssterkte van gemiddeld 70 dB.

De decibelschaal sluit aan bij de manier waarop mensen geluid waarnemen. Als het aantal geluidsbronnen twee keer zo groot wordt, verdubbelt het vermogen dat de geluidsbronnen afgeven. Maar voor jouw gevoel levert dat maar een bescheiden toename op van de hoeveelheid geluid. Op de decibelschaal gaat het om een stap van maar 3 dB.
Hoe groot de geluidssterkte in decibel wordt, kun je als volgt berekenen:

Als het aantal geluidsbronnen 2× zo groot wordt, neemt de geluidssterkte met 3 dB toe.

Je kunt deze regel alleen gebruiken als alle geluidsbronnen (ongeveer) even veel geluid maken en op (ongeveer) dezelfde afstand staan.



▲ **figuur 25**
zuurkast in een lab

Voorbeeldopgave 3
In een lab staat een aantal zuurkasten (figuur 25). In een zuurkast zit een afzuiginstallatie waardoor je er op een veilige manier proeven kunt doen waarbij dampen vrijkomen. Als een van de zuurkasten aanstaat, wordt er op twee meter afstand een geluidssterkte gemeten van 40 dB. Hoe groot is daar de geluidssterkte als er vier zuurkasten aanstaan?

Het aantal decibellen is bij:
- één zuurkast: 40 dB;
- twee zuurkasten: 40 + 3 = 43 dB (van 1 naar 2: eerste verdubbeling)
- vier zuurkasten: 43 + 3 = 46 dB (van 2 naar 4: tweede verdubbeling)

Geluidssterkte en afstand

Deskundigen maken onderscheid tussen 'puntvormige' en 'lineaire' geluidsbronnen. Als het geluid van één plek komt – bijvoorbeeld van een auto op een rustig landweggetje – heb je met een puntvormige geluidsbron te maken. De geluidssterkte hangt af van de afstand tot de geluidsbron.


▲ **figuur 26**
een lineaire geluidsbron

Uit proeven en berekeningen blijkt:

Als de afstand tussen jezelf en een puntvormige geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte (die jij waarneemt) met 6 dB af.

Een drukke verkeersweg vormt een 'lint van lawaai' (figuur 26). Zo'n weg is een lineaire (lijnvormige) geluidsbron. Met 'de afstand tussen jou en de weg' wordt de kortste afstand bedoeld, loodrecht op de weg gemeten. Voor het geluid van zo'n lineaire geluidsbron geldt:

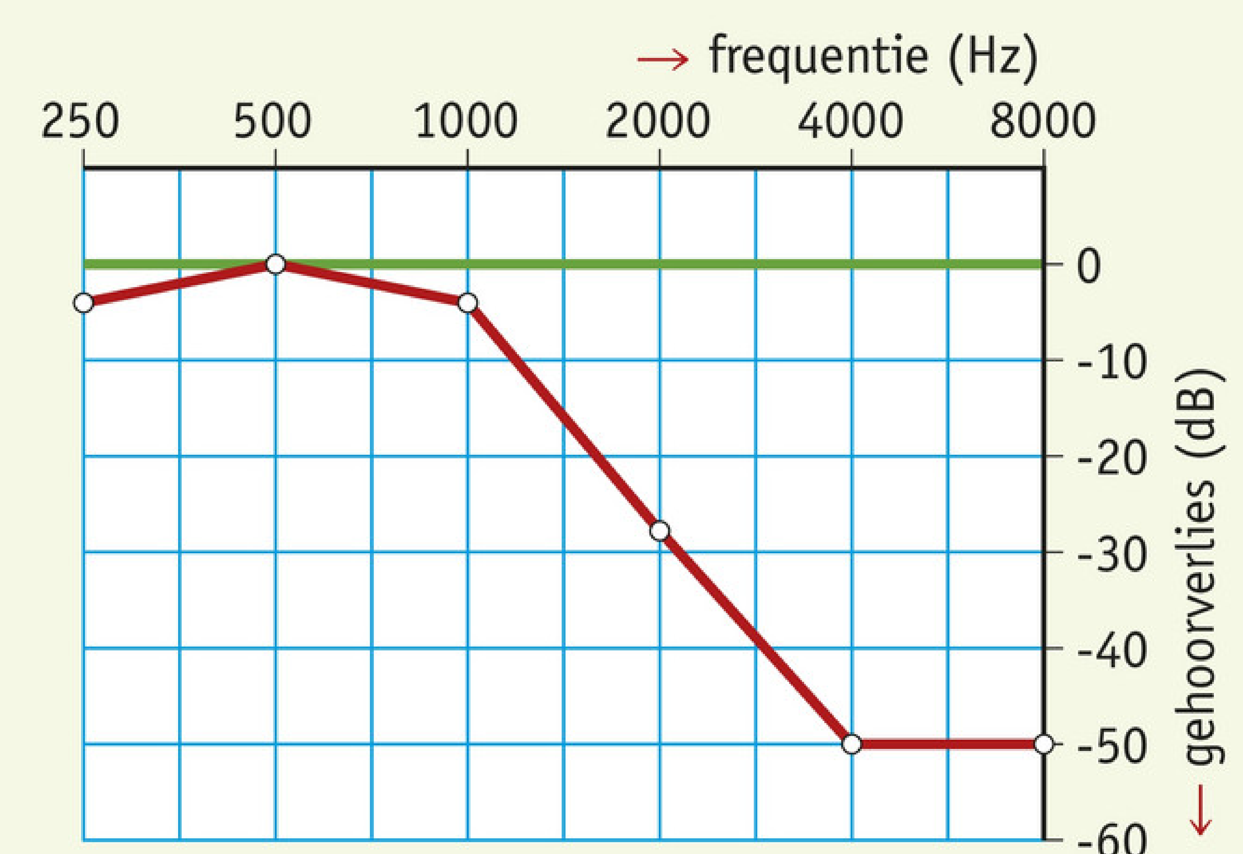
Als de afstand tussen jezelf en een lineaire geluidsbron verdubbelt, neemt de geluidssterkte (die jij waarneemt) met 3 dB af.

Plus Het audiogram

Als een arts vermoedt dat je gehoor beschadigd is, kan deze van beide oren een **audiogram** laten maken door een audioloog (van het Latijnse *audire* = horen). Op een audiogram kun je zien hoeveel jouw gehoordrempel afwijkt van de normale waarde.
Het audiogram wordt als volgt gemaakt (figuur 27). Via een koptelefoon krijg je een aantal tonen te horen van verschillende toonhoogte en intensiteit. Als je een toon hoort, moet je je hand opsteken. Uit die meetgegevens berekent het apparaat de gehoordrempels voor een aantal frequenties tussen 250 Hz en 8000 Hz.
In figuur 28 zie je het resultaat in een audiogram weergegeven. In zo'n diagram zie je je gehoorverlies bij verschillende frequenties. In dit audiogram kun je zien dat er een flink gehoorverlies is voor hoge tonen. Om het diagram niet te groot te maken, zijn de frequenties op een speciale schaal langs de *x*-as uitgezet. Bij elk hokje wordt de frequentie twee keer zo groot. Zo'n schaalverdeling noem je **logaritmisch**.



▲ **figuur 27**
Zo wordt een audiogram gemaakt.



▲ **figuur 28**
De rode lijn in dit audiogram toont een gehoorverlies voor hoge tonen.

opgaven

29 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke twee eenheden worden gebruikt voor de geluidssterkte?
- **b** Leg uit wat het verschil is tussen deze twee eenheden.
- **c** Geef een definitie van de gehoordrempel.
- **d** Voor welke tonen is de gehoordrempel hoger dan 0 dB?

30 Dimitri slaat een stemvork aan. Hij hoort een toon die langzamerhand steeds zachter wordt.
- **a** Verandert de frequentie van de geluidstrilling als de toon zachter wordt? Zo ja, hoe?
- **b** Verandert de amplitude van de geluidstrilling als de toon zachter wordt? Zo ja, hoe?

31 Niet alle tonen zijn hoorbaar (figuur 24).
- **a** Een toon heeft een sterkte van 20 dB en een frequentie van 50 Hz. Kun je die toon horen?
- **b** Een toon heeft een sterkte van 20 dB en een frequentie van 5000 Hz. Kun je die toon horen?
- **c** Hoe sterk moet een toon van 100 Hz minstens zijn om gehoord te kunnen worden?
- **d** Hoe sterk moet een toon van 10 000 Hz minstens zijn om gehoord te kunnen worden?

32 In een voetbalstadion wordt op de middenstip de geluidssterkte gemeten. Als er duizend mensen aan het juichen zijn, geeft de decibelmeter 80 dB aan.
Schat hoe groot de geluidssterkte ongeveer zal zijn als er honderdduizend mensen aan het juichen zijn. Geef aan hoe je aan je antwoord bent gekomen.

***33** Een apparaat geeft een zacht zoemgeluid met een frequentie van 100 Hz. Op 10 m afstand heeft het gezoem een geluidssterkte van 0 dB.
- **a** Hoeveel van die apparaten moeten tegelijk aanstaan, wil je het gezoem op 10 m afstand kunnen horen?
- **b** Als de frequentie van het geluid hoger wordt, kun je het wel horen. Welke frequenties kun je net horen als de geluidssterkte 0 dB is?
- **c** Op 40 m afstand geven zestien van deze apparaten samen een geluidssterkte van 0 dB.
  Hoe groot is de geluidssterkte van één apparaat op 40 m afstand?

***34** Een scooter passeert je op een afstand van 15 m. Op de plaats waar jij staat, is de geluidssterkte dan 78 dB. Na ongeveer 30 seconden is de scooter 480 m van je verwijderd.
- **a** Is een scooter een puntbron of een lineaire bron? Licht je antwoord toe.
- **b** Hoe groot is de geluidssterkte die je na 30 seconden waarneemt?

***35** Vergelijk de volgende twee situaties:

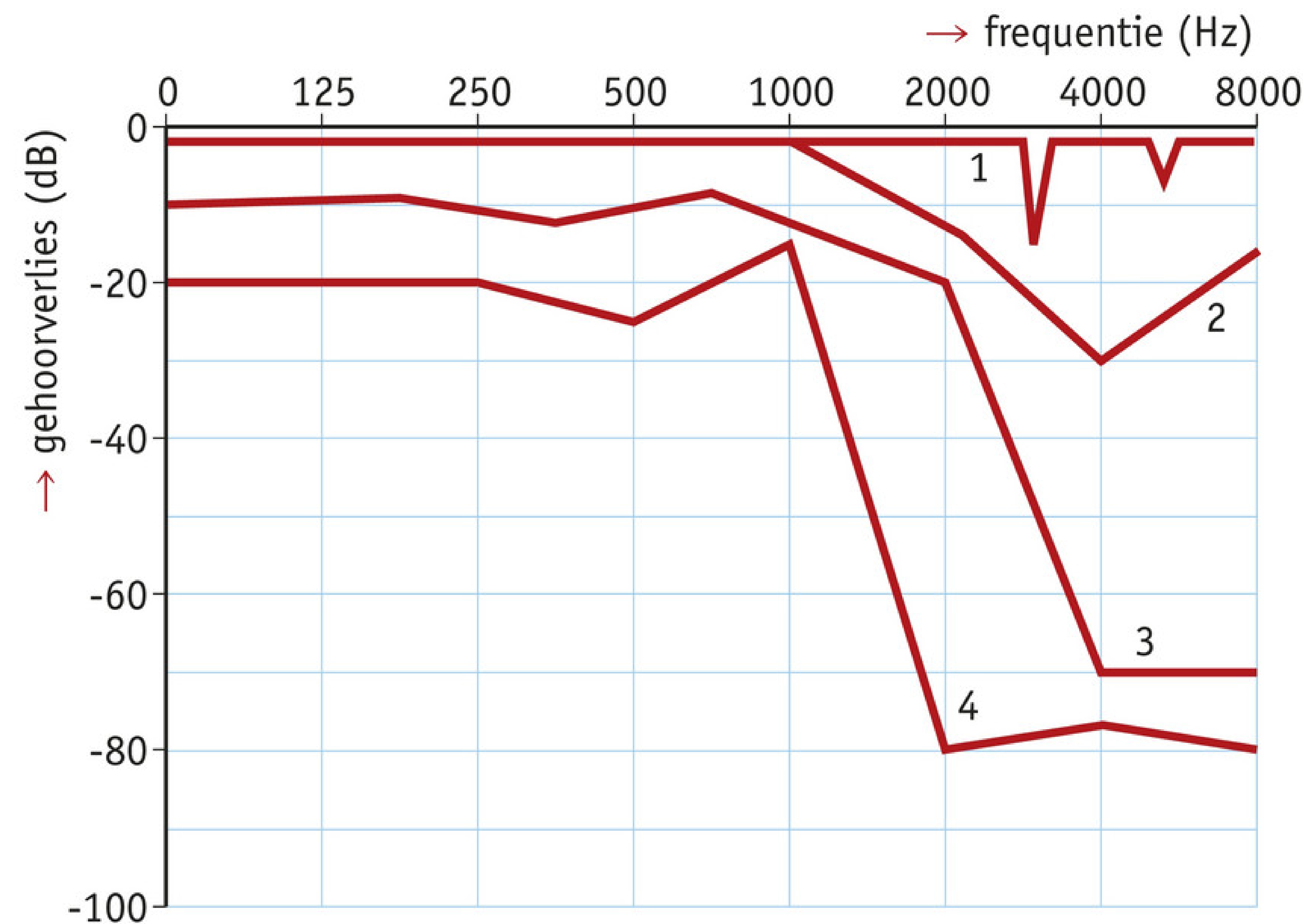
> *Situatie 1*
> Een wegwerker is met een drilboor aan het werk op een snelweg die is afgesloten voor verkeer. Uit metingen op 25 m afstand van de wegwerker blijkt dat de drilboor gemiddeld 75 dB produceert.
>
> *Situatie 2, drie maanden later*
> Tijdens de ochtendspits rijdt er druk verkeer over de inmiddels weer opengestelde snelweg. Uit metingen op 25 m afstand van de weg blijkt dat het verkeer gemiddeld 60 dB produceert.

a Een woonhuis staat op 200 m afstand van de weg, ter hoogte van de wegwerker en zijn drilboor.
Bereken hoe groot de geluidssterkte bij het huis was toen de wegwerker nog bezig was (situatie 1).
b Bereken ook de geluidssterkte bij het huis nadat de weg weer open was (situatie 2).
c Op 1200 m afstand van de weg begint een woonwijk.
Wat kunnen de mensen daar beter horen: de drilboor of het verkeer? Licht je antwoord toe.
d Hoe ziet het gebied van situatie 1 eruit, waar de geluidssterkte hoger is dan 55 dB? Beschrijf de vorm van het gebied en de grootte ervan.
e Beantwoord dezelfde vraag voor situatie 2.

36 Als je minder last wilt hebben van een geluidsbron, dan moet je er verder vanaf gaan staan.
a Bij welk type bron is dit effectiever: bij een puntvormige geluidsbron of bij een lineaire geluidsbron?
b Hoe kun je dit verschil verklaren?

Plus Het audiogram

37 In figuur 29 zie je audiogrammen van mensen in verschillende stadia van lawaaidoofheid (van 1 t/m 4). Lawaaidoofheid ontstaat doordat je oren te lang aan lawaai hebben blootgestaan.
a Welke frequenties worden het eerst beïnvloed bij gehoorschade?
b Wat betekent gehoorschade in stadium 3 of 4 voor het luisteren naar muziek?
c Neem figuur 30 over. Iemand heeft gehoorschade in stadium 3. Schets in figuur 30 hoe een gehoorapparaat in dat geval geluid zal moeten versterken.



▶ **figuur 29**
audiogrammen van mensen in verschillende stadia van lawaaidoofheid

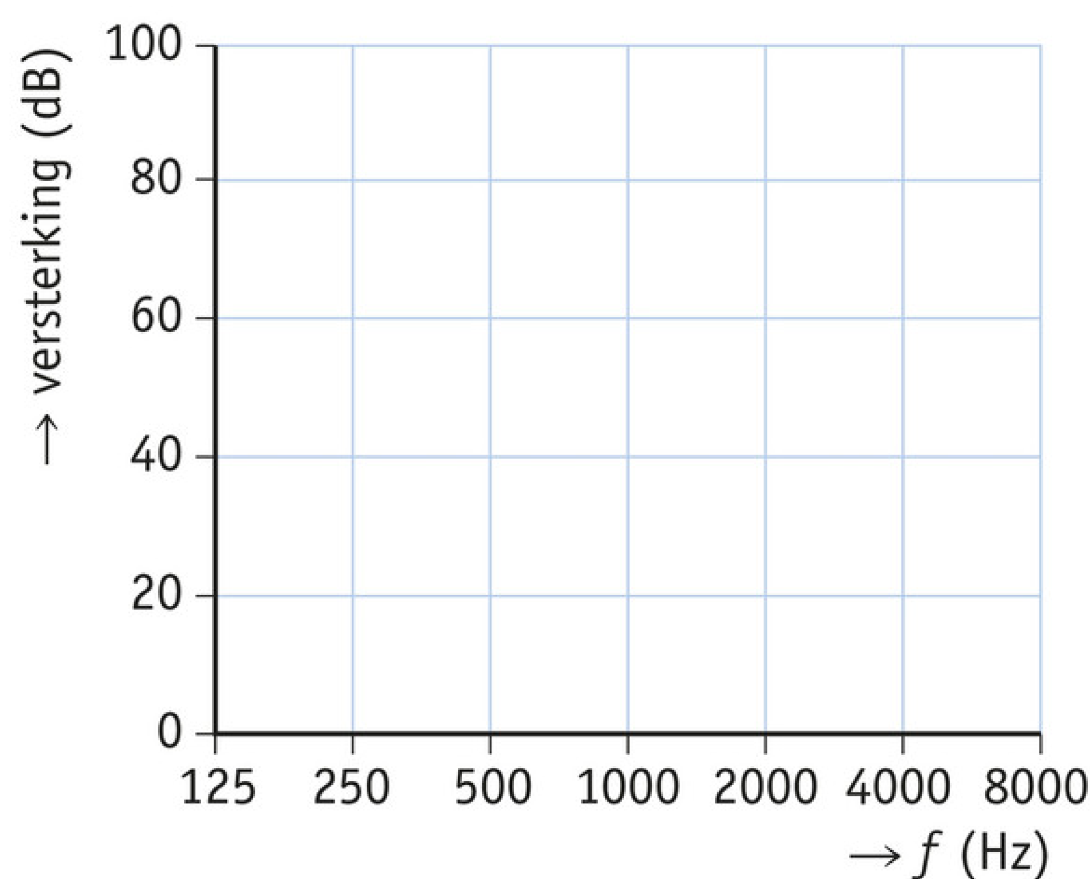
38 In figuur 31 zie je het audiogram van het gehoor van Anna.

a Hoort Anna de lage tonen beter met haar linkeroor (groen) of met haar rechteroor (rood)?

b Hoe groot is het gehoorverlies bij het linkeroor van Anna als ze naar een toon van 250 Hz luistert?

c Welke frequentie hoort Anna het best met haar rechteroor?

d Het trommelvlies wordt wat minder soepel als je ouder wordt. Leg uit waarom je dan hogere tonen minder goed hoort.

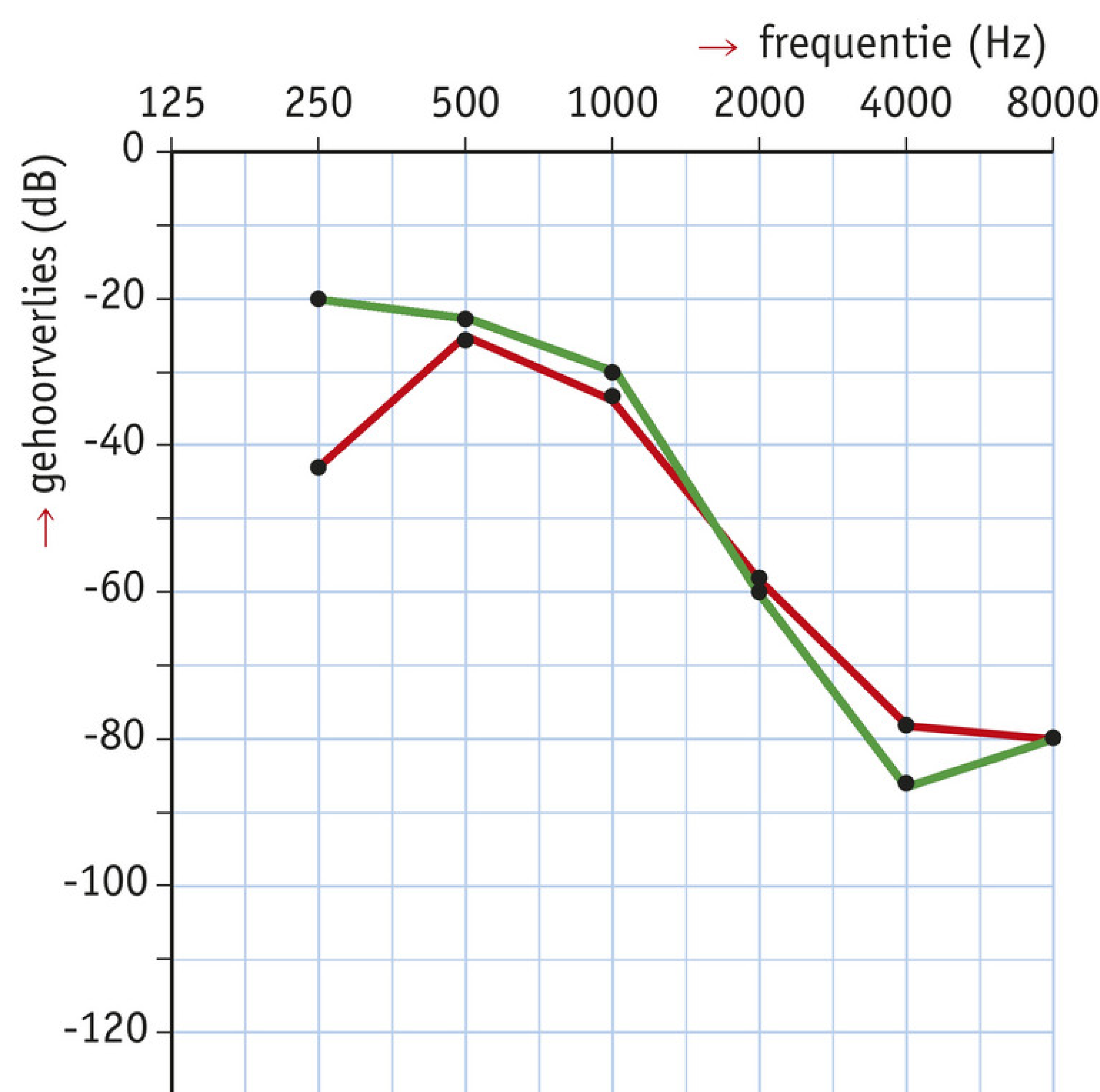


▲ **figuur 30**
geluid versterken

39 Als er een audiogram van je gehoor wordt gemaakt, krijg je soms niet alleen een koptelefoon op, maar wordt er ook een blokje tegen je hoofd geplaatst. Dat blokje kan trillen, net als de conussen van de koptelefoon. De trillingen van het blokje gaan niet via de lucht, maar langs een andere weg direct naar het slakkenhuis van je oren.

a Hoe komen de trillingen van het blokje bij de slakkenhuizen van je oren?

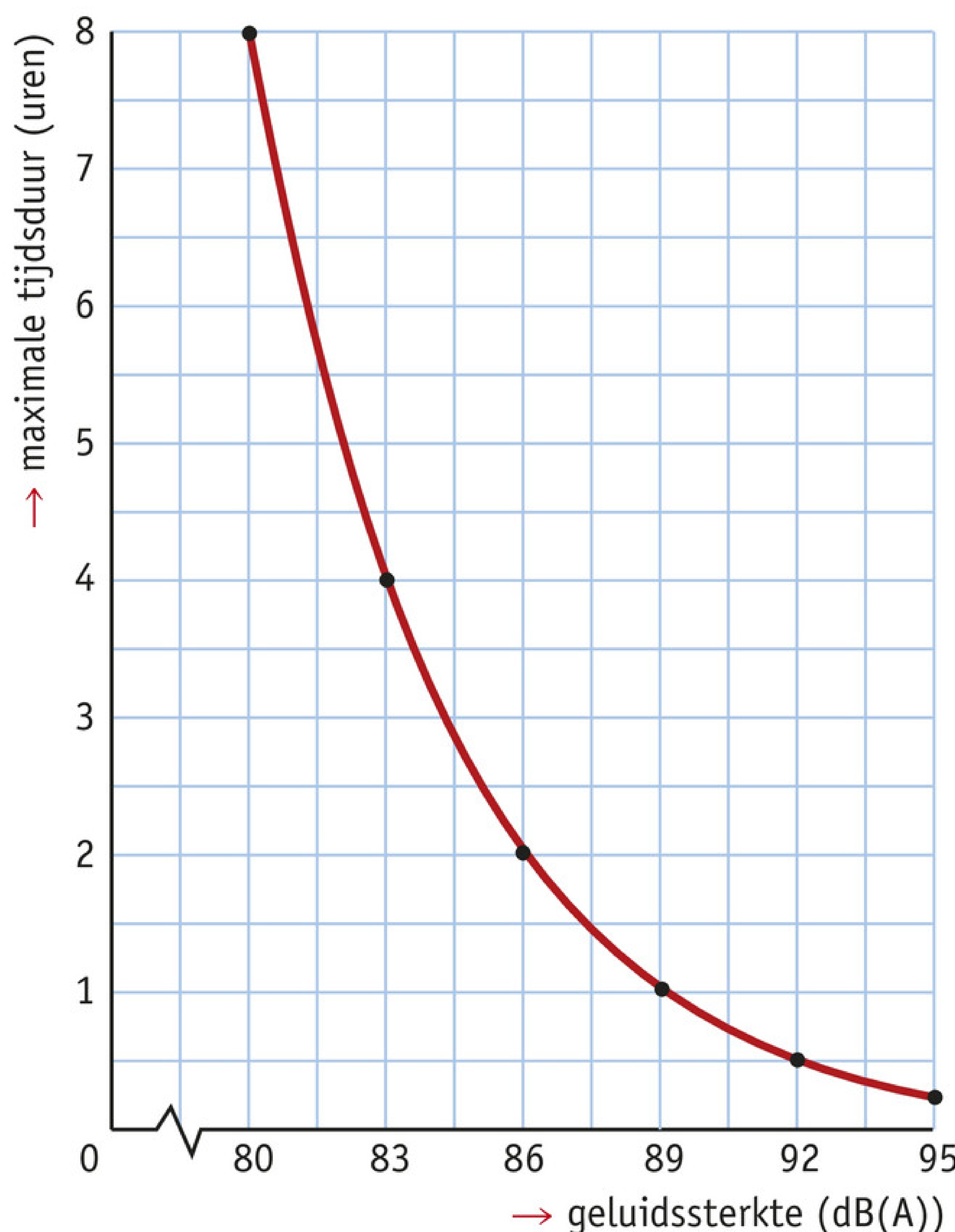
b Wat zal er aan de hand zijn als je beter via het blokje 'hoort' dan via de koptelefoon?



▶ **figuur 31**
het audiogram van Anna

4 Geluidsoverlast bestrijden

Geluid kan heel irritant zijn. Denk aan het geluid van een vork die over een bord krast. Harde geluiden kunnen je gehoor bovendien blijvend beschadigen. Alle reden dus om ongewenst geluid te bestrijden.



▲ **figuur 32**
Hoe luider het geluid, des te korter mag je eraan blootstaan.

Schadelijke geluidssterkte

Harde geluiden zijn slecht voor je gehoor. Als de geluidssterkte op de pijngrens zit, loopt je gehoor vrijwel meteen schade op. Maar ook als je langdurig wordt blootgesteld aan geluid van 80 tot 90 dB, kun je al gehoorschade oplopen. Bij een disco of een popconcert weet je vaak wel of het geluid te hard is of niet. Maar bij muziek uit een koptelefoon of oortje is dat lastiger. Vaak is dat geluid harder dan je denkt. In het begin merk je niet dat je gehoor achteruitgaat. Als je het wel merkt, is het te laat en is de schade onherstelbaar.

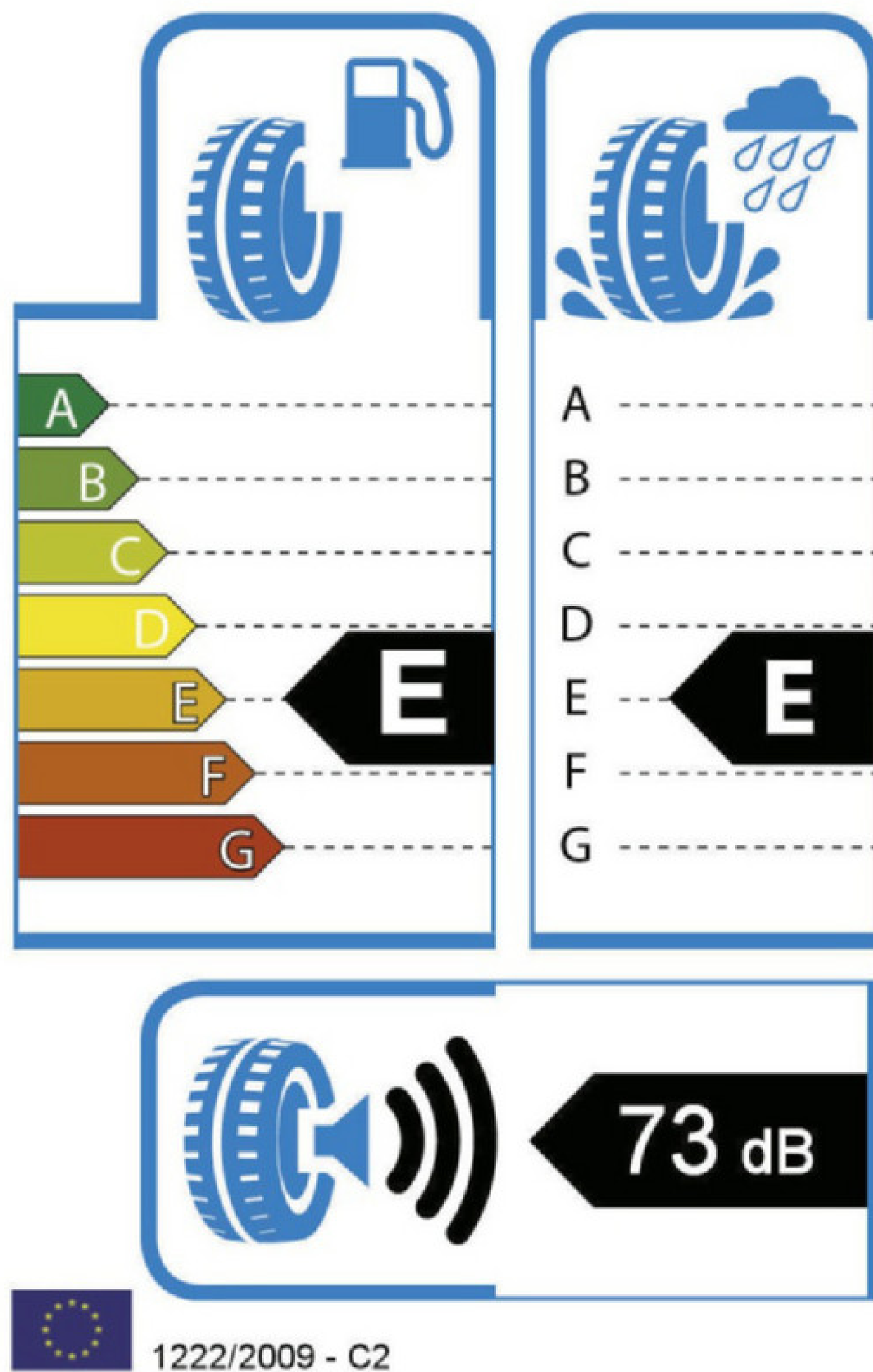
Of geluid schadelijk is voor je gehoor hangt af van de geluidssterkte én van de tijdsduur dat je aan het geluid blootstaat. In figuur 32 zie je hoe lang een werknemer volgens de Arbowet maximaal aan lawaai mag blootstaan. Bij geluid van 80 dB(A) is dat acht uur, bij geluid van 83 dB(A) vier uur, bij geluid van 86 dB(A) twee uur, enzovoort. Als de maximale tijd voorbij is, moet je je gehoor de tijd geven zich weer te herstellen. Anders loop je kans op blijvend gehoorletsel.

Hinderlijk geluid

Geluid dat niet schadelijk is, kan wel hinderlijk zijn. De ene persoon heeft eerder last van bepaalde geluiden dan de andere. Of je een geluid hinderlijk vindt, hangt van de situatie af. Een feest bij de buren hoeft helemaal niet erg te zijn, totdat je gaat slapen en merkt dat de muziek toch best wel hard staat. Dat mensen slecht slapen door geluidsoverlast, is niet alleen maar lastig. Slaapgebrek leidt tot prikkelbaar gedrag, concentratieverlies en oververmoeidheid. Op den duur kan je gezondheid door slaapgebrek achteruitgaan.

Maatregelen tegen geluidsoverlast

Een auto die over een weg rijdt, produceert flink wat geluid. Dat geluid komt van de motor die de auto voortstuwt, de wielen die over het wegdek bewegen en de lucht die langs de auto stroomt.
Er zijn verschillende manieren bedacht om de geluidshinder van het verkeer te verminderen. Deskundigen maken daarbij verschil tussen drie soorten maatregelen: bij de bron, tussen de bron en de ontvanger, en bij de ontvanger.



▲ figuur 33
Banden met twee streepjes voldoen aan de nieuwe regels voor geluid, banden met drie streepjes niet.

Bij de bron
Dit zijn maatregelen waardoor de bron – het verkeer – minder geluid gaat produceren. Dat kan bijvoorbeeld door snelwegen te asfalteren met geluidsarm asfalt. Ook komen er strengere regels voor de hoeveelheid lawaai die autobanden mogen maken (figuur 33).

Tussen de bron en de ontvanger
Dit zijn maatregelen in het gebied tussen een weg en een woongebied, zoals **geluidswallen** en **geluidsschermen**. Ook worden langs snelwegen vaak bedrijfsgebouwen gepland om de woonwijk daarachter af te schermen.

Bij de ontvanger
Dit zijn de maatregelen die in het woongebied genomen worden. Huizen die dicht bij een snelweg staan, worden bijvoorbeeld extra goed geïsoleerd tegen geluidshinder. Er kan dan veel minder geluid de huizen binnenkomen.



▲ figuur 34
een geluidsscherm

Geluid absorberen of terugkaatsen

Een dikke aarden wal langs een snelweg kan het verkeerslawaai behoorlijk dempen. Het geluid wordt door zo'n wal **geabsorbeerd**: de geluidsgolven dringen een eindje in de wal door, maar doven uit voordat ze de andere kant bereiken. Materiaal dat geluid moet absorberen, is zacht en heeft een onregelmatig oppervlak.
Als er niet voldoende ruimte is voor een geluidswal, wordt er vaak een geluidsscherm langs de snelweg geplaatst. Het geluid wordt door zo'n scherm **teruggekaatst**, zodat het de woningen langs de snelweg niet bereikt (figuur 34). Materiaal dat geluid moet terugkaatsen, is hard en heeft een glad oppervlak.

Geluidsisolatie

Geluidshinder kun je bestrijden met **geluidsisolatie**. Daarvoor wordt een isolatiemateriaal gebruikt dat het geluid sterk absorbeert, bijvoorbeeld glaswol (figuur 35). De isolatie kan worden aangebracht bij de bron van het geluid of bij de ontvanger. Beide manieren worden in de praktijk toegepast.



▶ figuur 35
glaswol

Je kunt een lawaaierige machine isoleren door er een goed afgesloten behuizing omheen te bouwen, met een flinke laag isolatiemateriaal. De geluidstrillingen worden door zo'n isolatielaag flink afgezwakt. Vaak wordt zo'n machine gemonteerd op rubberen noppen. Het rubber dempt de trillingen, zodat die niet aan de vloer worden doorgegeven.

Geluidsisolatie kan ook worden aangebracht bij de ontvanger. Werknemers moeten bijvoorbeeld **oorkappen** of **oordopjes** dragen, als het geluid op hun werkplek luider is dan 85 dB(A). Hierdoor wordt het geluid dat hun oren bereikt, een stuk zwakker.

Plus Gehoorbescherming

Musici die in een orkest spelen, moeten zuinig op hun gehoor zijn. In de praktijk valt dat niet mee. De instrumenten om hen heen maken zoveel lawaai dat ze risico lopen op een gehoorbeschadiging (tabel 5). Gewone oordopjes vormen geen goede oplossing: die dempen de ene frequentie meer dan de andere, waardoor de muziek vervormt.

Er zijn oordopjes die alle frequenties wel even sterk dempen, maar die zijn veel duurder dan de gewone. Het duurst zijn de otoplastieken (oto komt van het Griekse woord *ous* = oor) die door professionele musici gebruikt worden (figuur 36). Als je een otoplastiek nodig hebt, moet er eerst een afdruk van je gehoorgang worden gemaakt. De otoplastiek wordt daarna op maat gemaakt, zodat hij precies in je gehoorgang past.

▼ **tabel 5** gemiddelde geluidssterkte voor musici in een orkest

musicus	geluidssterkte (dB)
trompet, trombone en hoorn	88
slagwerk	85
fluit en klarinet	84
hobo en fagot	83
harp	82
cello en viool	80



▶ **figuur 36** otoplastieken

opgaven

40 Geluid kan zowel hinderlijk als schadelijk zijn.
- **a** Wanneer is geluid schadelijk?
- **b** Geef een voorbeeld van schadelijk geluid.
- **c** Wanneer is geluid hinderlijk?
- **d** Geef een voorbeeld van hinderlijk geluid.

41 Het verkeer op een drukke weg kan veel lawaai maken.
Noteer een manier om de geluidsoverlast te bestrijden:
- **a** bij de bron;
- **b** tussen de bron en de ontvanger;
- **c** bij de ontvanger.

42 Frank woont op de vijfde verdieping van een flatgebouw. Als hij piano speelt, zet hij altijd het raam open. Op de vierde verdieping van het flatgebouw kun je hem dan duidelijk horen spelen.
- **a** Via welke twee media komt het geluid van Franks piano op de vierde verdieping terecht?
- **b** Op verzoek van zijn onderburen doet Frank voortaan het raam dicht en zet hij de poten van zijn piano op dikke stukken rubber. Noem twee oorzaken waardoor de onderburen nu veel minder last hebben van Franks pianospel.
- **c** Frank isoleert ook nog de kamer waar zijn piano staat met glaswol. Waarom is het beter als deze isolatie los van de muur staat?
- **d** Glaswol heeft een zeer open structuur: het bestaat uit draden (vezels) waartussen veel kleine holtes met lucht zitten. Leg uit waarom dit voor een goede geluidsisolatie zorgt.

43 Als je muziek luistert op je smartphone of mp3-speler via oortjes en je zet het volume op maximaal, dan kan de geluidssterkte in je oren gemakkelijk oplopen tot 95 dB(A).
Beantwoord de volgende vragen met behulp van figuur 32.
- **a** Is een geluidssterkte van 95 dB(A) slecht voor je oren? Licht je antwoord toe.
- **b** Hoe lang kun je (redelijk) veilig naar muziek van 95 dB(A) luisteren?
- **c** Jesse zegt dat hij bijna de hele dag via zijn oortjes naar muziek luistert.
  Wat is een veilige geluidssterkte voor iemand die zoveel naar muziek luistert?
- **d** Verkeersdeskundigen zeggen dat je in het verkeer beter niet naar muziek kunt luisteren.
  Welke reden zullen ze daarvoor hebben?

***44** Lees het artikel in figuur 37.
- **a** Wat wordt er met 'geluidsschaduw' bedoeld?
- **b** Beredeneer dat het geluid bij een afname met 15 dB 32× zo zacht klinkt.
- **c** Hoeveel maal zo zacht klinkt geluid dat met 5 dB afneemt? Maak een schatting.

Geluidsschermen bieden minder bescherming

Geluidsschermen langs autowegen bieden veel minder bescherming tegen geluidsoverlast dan gedacht. In de praktijk 'tilt' de wind het verkeerslawaai over de schermen heen. De geluidsschaduw achter de schermen is daardoor veel kleiner dan wordt aangenomen. Een scherm dat geacht werd vijftien decibel tegen te houden, deed dat maar met vijf decibel. Geluidsschermen zouden beter in de vorm van een aarden wal met een afgeronde top kunnen worden gebouwd, blijkt uit onderzoek.

bron: De Ster

▶ **figuur 37**
geluidsschermen

Plus Gehoorbescherming

45 De duurste oordoppen worden op maat gemaakt. Er wordt dan eerst een afdruk gemaakt van je gehoorgang.
- **a** Waarom moet er eerst een afdruk van je gehoorgang worden gemaakt?
- **b** Wat zal een gebruiker merken als zijn otoplastiek niet goed past?
- **c** Heeft het zin om een otoplastiek van iemand anders te lenen?

***46** Lees het artikel van figuur 38.
- **a** Van welke factoren hangt het af of geluid schade toebrengt aan het gehoor?
- **b** In het artikel staat een aantal maatregelen genoemd om gehoorbeschadiging te voorkomen.
  Noem deze maatregelen.
- **c** Waarom hebben musici niets aan goedkope oordoppen om het genoemde probleem op te lossen?

Oordopjes voor muzikant

Minder luidruchtige muziekstukken op het repertoire, een grotere afstand of zelfs plexiglazen schermen tussen blazers en strijkers en misschien zelfs oordopjes voor musici. Dat zijn mogelijke gevolgen van nieuwe regels voor geluidsbelasting op het werk. De huidige toelaatbare geluidsnorm van 90 dB gaat naar 87 dB. TNO gaat onderzoeken hoe de geluidsbelasting verlaagd zou kunnen worden. Een mogelijkheid is bijvoorbeeld hogere plaatsen van de blazers op het podium, zodat ze niet meer al te direct in de oren van andere musici blazen.

bron: NRC Handelsblad

▶ **figuur 38**

47 Een orkest heeft een groot aantal verschillende instrumenten. Het publiek moet al deze instrumenten kunnen horen. Zoek op internet uit wat nagalm is en hoe die in een zaal verbeterd kan worden.

Practicum

Proef 1 De stemvork 15 min

Inleiding
Geluid ontstaat als voorwerpen trillen, zoals een stemvork of een luidspreker. Door de beweging van zo'n geluidsbron wordt de omringende lucht ook in trilling gebracht. Zo kan het geluid je oren bereiken.

Doel
Bij deze proef ga je het trillen van een stemvork onderzoeken.

Nodig
- stemvork 440 Hz
- bekerglas

Uitvoeren en uitwerken
- Sla de stemvork aan. Luister naar de toon die je hoort.
- Sla de stemvork opnieuw aan. Zet hem vervolgens met zijn onderkant op de tafel.
- Luister weer naar de toon.

1 Welk verschil hoor je met de eerste keer?

- Sla de stemvork aan. Voel met je nagel aan een been van de stemvork.

2 Wat voel je?

- Vul het bekerglas voor driekwart met water. Sla de stemvork aan. Raak met één been van de stemvork het wateroppervlak aan. Pas op dat je de rand van het glas niet raakt!

3 Wat zie je?

- Sla de stemvork aan en houd hem met zijn onderkant op verschillende plaatsen tegen je hoofd.

4 Wanneer klinkt de stemvork het luidst?

Proef 2 De luidspreker 15 min

Inleiding
In luidsprekers zit een kegelvormig onderdeel dat de conus wordt genoemd. Deze conus kan heen en weer bewegen en zo de omringende lucht in trilling brengen.

Doel
Bij deze proef kom je erachter hoe een luidspreker de lucht in trilling brengt.

Nodig
- luidspreker
- twee snoeren
- voedingskastje

Uitvoeren en uitwerken
- Sluit de luidspreker aan op een gelijkspanning van 4,5 volt (figuur 39). Kijk tijdens het aansluiten naar de conus.

1 Beweegt de conus nu naar binnen of naar buiten?

- Wissel de twee aansluitingen op het voedingskastje om.

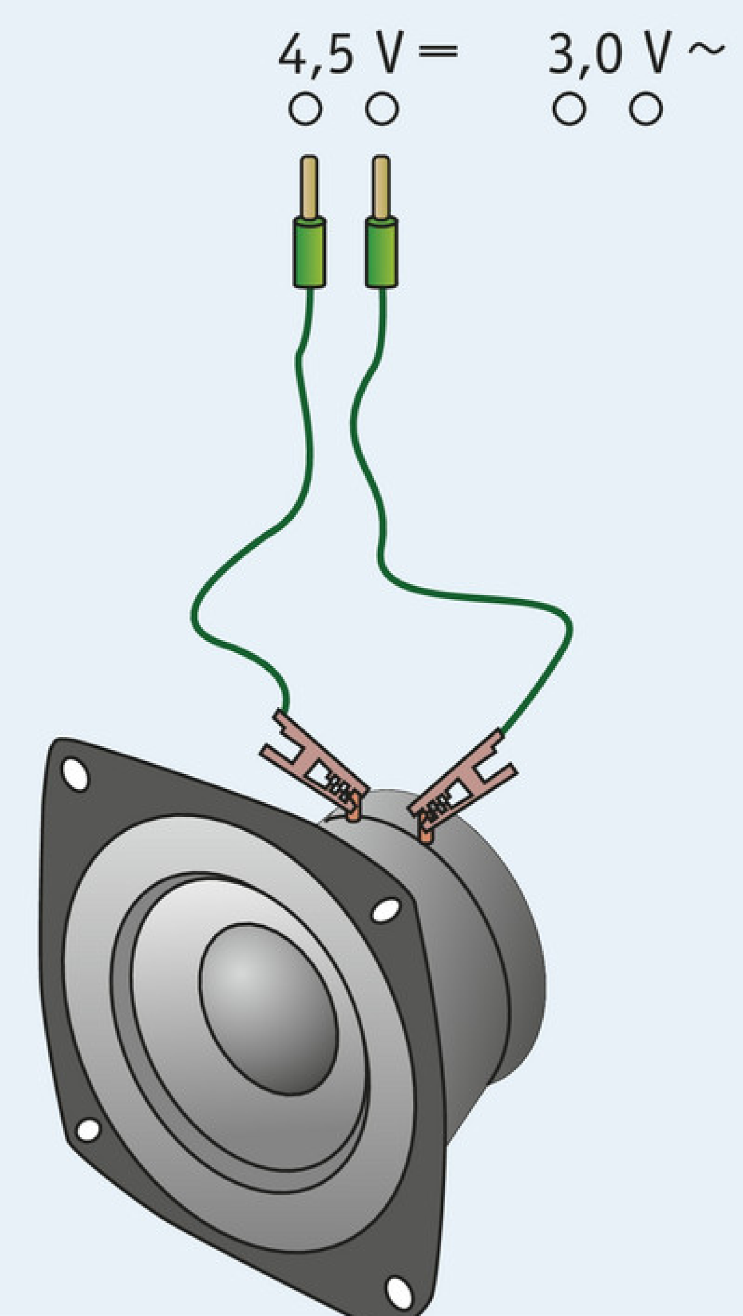
2 Beweegt de conus nu naar binnen of naar buiten?

- Sluit nu de luidspreker aan op een wisselspanning van 3 volt.
- Let op: Maak de spanning niet groter dan 3,0 volt!

3 Wat hoor je?

- Voel voorzichtig aan de conus.

4 Wat voel je?



▶ **figuur 39**
de opstelling van proef 2

Proef 3 Tonen van snaren 30 min

Let op! Als je een snaar te strak aanspant, kan hij breken. Dat is gevaarlijk, want een snaar kan je met een flinke kracht raken. Daarom is het verplicht om bij deze proef een veiligheidsbril te dragen.

Inleiding
Er zijn allerlei muziekinstrumenten die geluid produceren met trillende snaren. Denk aan een gitaar, een viool en een piano.

Doel
Bij deze proef onderzoek je van welke factoren de toon van een snaar afhangt.

Nodig
- veiligheidsbril
- twee tafelklemmen
- twee draadspanners
- dunne metalen snaar
- dikke metalen snaar
- rolmeter

Uitvoering en uitwerking
- Zet je veiligheidsbril op!
- Zet de tafelklemmen 50 cm uit elkaar en klem ze op de tafel vast.
- Maak de dunne snaar tussen de klemmen vast (figuur 40).
- Span de dunne snaar een eindje, door aan een van de spanbouten te draaien.
- Trek voorzichtig met een wijsvinger aan het midden van de snaar en laat hem los.

1 Wat voor beweging maakt de snaar?

- Trek nog een keer aan de snaar.
- Luister vlak bij de snaar.

2 Hoor je geluid? Zo ja, wat valt je op aan het geluid?

- Breng de snaar opnieuw in trilling en pak hem voorzichtig vast.

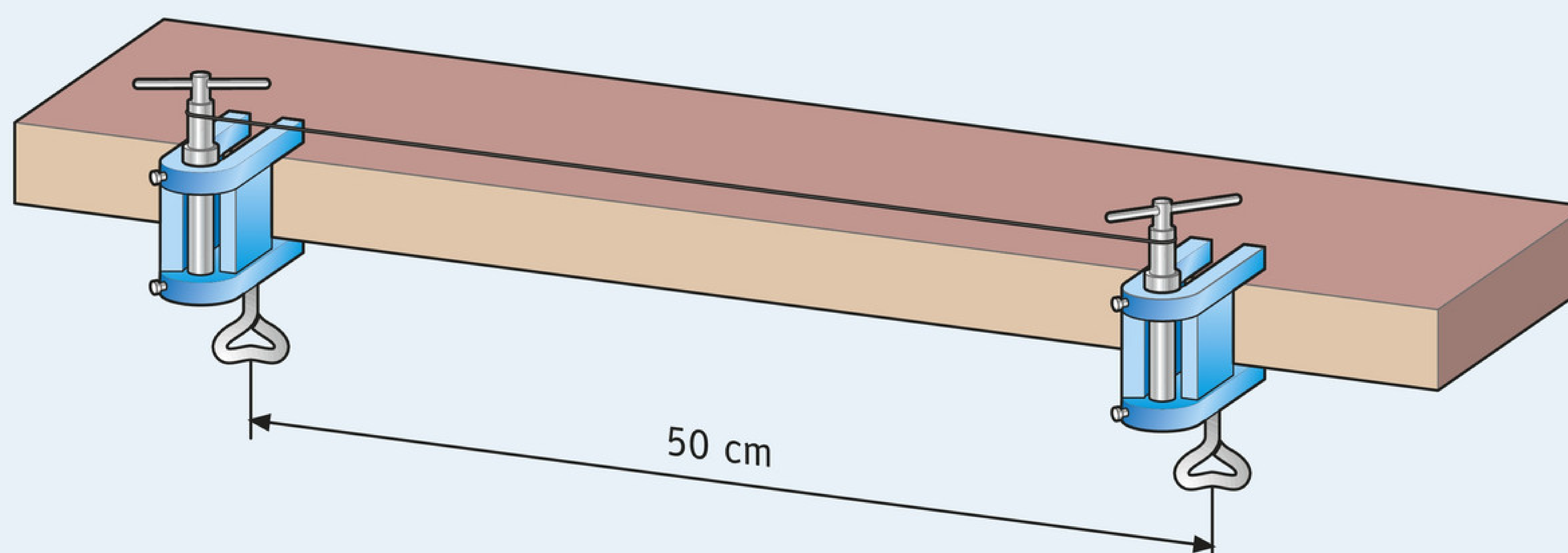
3 Wat voel je?
4 Hoor je nog geluid als je de snaar vastpakt?

- Maak de dunne snaar aan één klem los.
- Maak ook één tafelklem los.
- Zet nu de klemmen dichter bij elkaar, zodat de afstand 25 cm is.
- Span de snaar weer tussen de klemmen. Probeer, op je gevoel, de spanning in de snaar net zo groot te maken als eerst.
- Breng de snaar weer aan het trillen en luister goed.

5 Is de toon hetzelfde als de eerste keer? Zo nee, wat is het verschil?

- Maak de dunne snaar los en leg hem opzij.
- Zet de klemmen weer 50 cm uit elkaar.
- Span de dikke snaar tussen de twee klemmen. Probeer de spanning net zo groot te maken als die van de dunne snaar.
- Breng de snaar aan het trillen en luister goed.

6 Is de toon hetzelfde als bij de dunne snaar van 50 cm? Zo nee, wat is het verschil?



▲ **figuur 40**
de opstelling van proef 3

- Zet nu de klemmen weer 25 cm uit elkaar en span de dikke snaar ertussen. Probeer de spanning in de snaar weer net zo groot te maken als eerst.
- Breng de snaar weer aan het trillen en luister goed.

7 Is de toon hetzelfde als bij de dikke snaar van 50 cm? Zo nee, wat is het verschil?

- Span de snaar nu iets strakker.
- Breng hem weer aan het trillen en luister goed.

8 Is de toon veranderd door het spannen? Zo ja, hoe?

Proef 4 De trillende liniaal 10 min

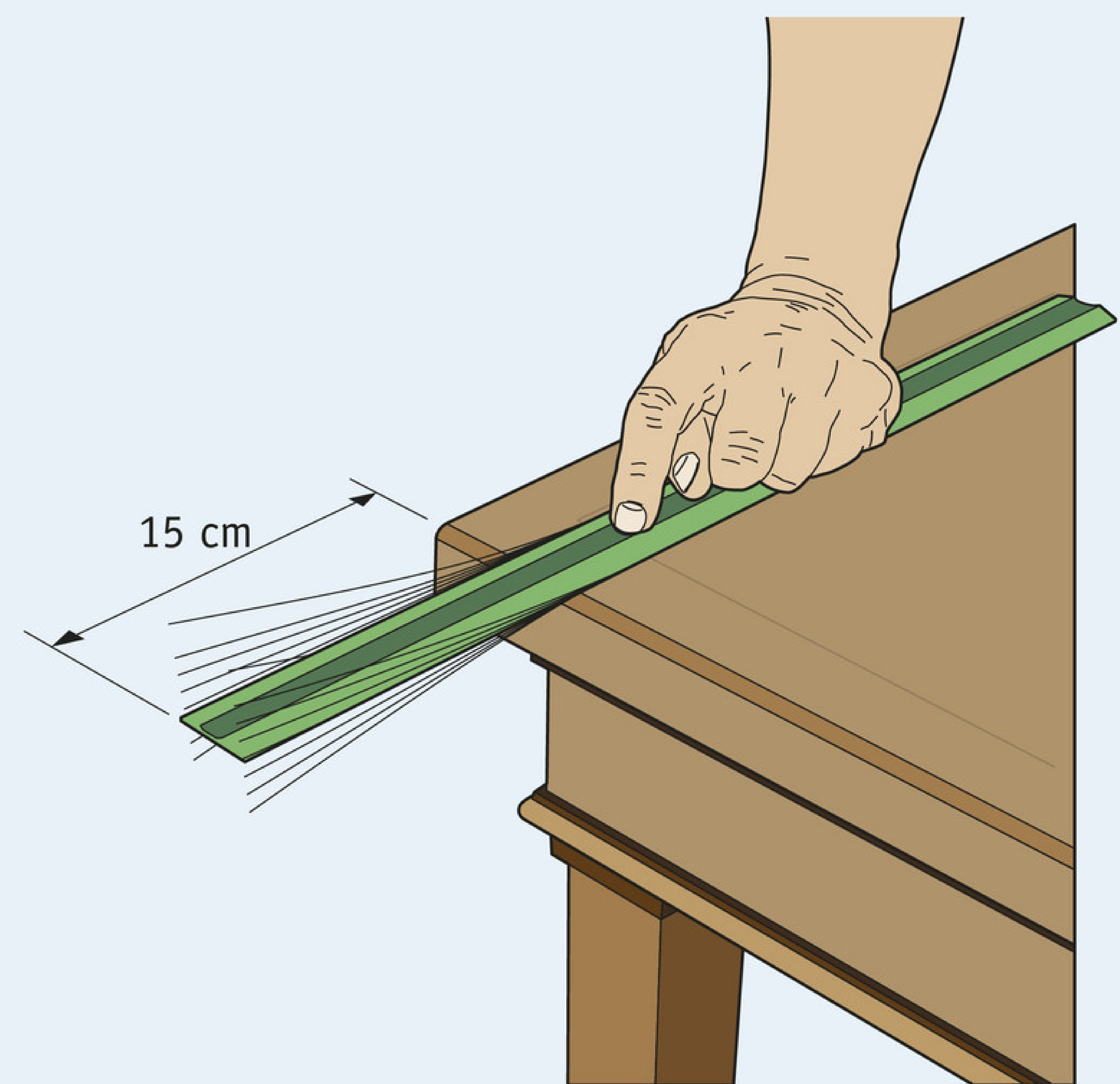
Inleiding
Een toonladder bestaat uit tonen met verschillende toonhoogte. Elke noot heeft zijn eigen toonhoogte. Die toonhoogte heeft te maken met de frequentie van het geluid: het aantal trillingen per seconde.

Doel
Bij deze proef ga je hoge en lage tonen maken met een liniaal.

Nodig
- metalen liniaal

Uitvoeren en uitwerken
- Duw de liniaal met je hand stevig op tafel. Zorg ervoor dat 15 cm van de liniaal buiten de tafel uitsteekt.
- Breng dit uiteinde in trilling zoals in de tekening van figuur 41.
- Laat de liniaal 10 cm buiten de tafel uitsteken en breng hem weer in trilling.
- Doe dit nog eens, terwijl de liniaal 5 cm uitsteekt.

1 Welk verschil hoor je tussen de geluiden?
2 Wanneer is het geluid het hoogst?
3 Wanneer is het geluid het laagst?
4 Waaraan merk je dat de trilling in enkele seconden uitsterft?



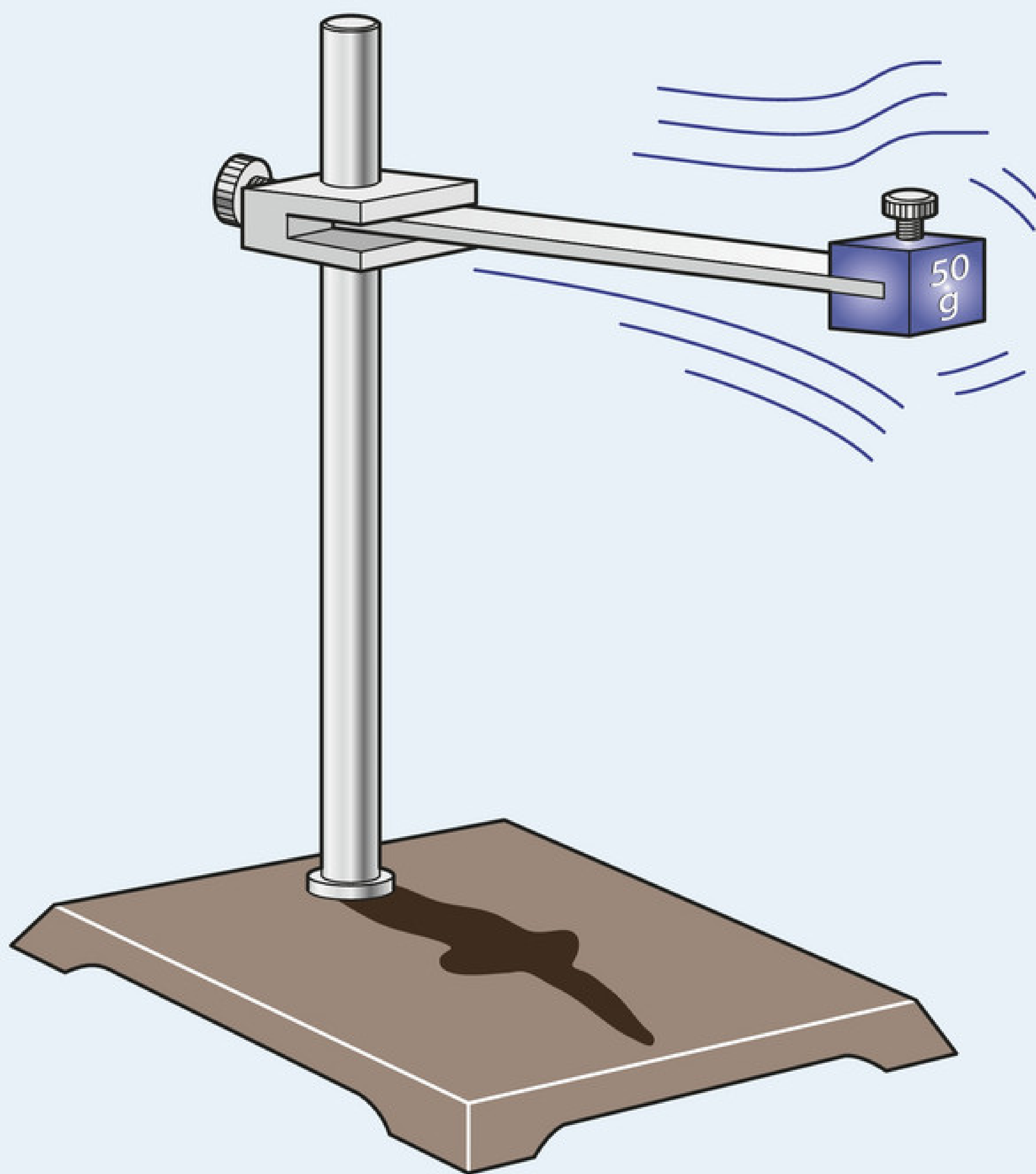
▲ **figuur 41**
Zo kun je de liniaal laten trillen.

Proef 5 De frequentie van een trilling 45 min

Inleiding
Als je het uiteinde van een zaagblad in beweging brengt, gaat het zaagblad trillen met een vaste trillingstijd. Je kunt de lengte van die trillingstijd veranderen door een massastuk aan het uiteinde van het zaagblad vast te maken.

Doel
Je onderzoekt hoe de frequentie van een trillend zaagblad afhangt van de massa aan het uiteinde van het blad.

Nodig
- zaagblad
- massastukken van 50 gram
- stopwatch
- statiefmateriaal
- werkblad 7-1



▲ **figuur 42**
de opstelling van proef 5

Uitvoeren en uitwerken
Meten
- Maak het zaagblad vast aan je statief, zoals getekend in figuur 42.
- Bevestig een massastuk van 50 g aan het uiteinde van het zaagblad.
- Breng het zaagblad in trilling. Meet met de stopwatch de tijd die nodig is voor tien trillingen. Doe dit in totaal drie keer.

1 Neem tabel 6 over in je schrift. Zet je metingen in de tabel.
2 Bereken het gemiddelde van de drie metingen. Rond het resultaat af op één cijfer achter de komma. Zet dit getal op de juiste plaats in de tabel.
3 Bereken hoeveel tijd nodig is voor één trilling. Deze tijd noem je de trillingstijd T van de trilling. Zet de uitkomst in de tabel.
4 Bereken hoeveel trillingen het zaagblad per seconde uitvoert. Rond af op één cijfer achter de komma. Dit noem je de frequentie f van de trilling.

- Bevestig aan het uiteinde van het zaagblad achtereenvolgens massastukken van 100 en 150 g. Herhaal de proef en bepaal steeds met welke frequentie het blad dan trilt.

5 Noteer alle meetresultaten in de tabel.

Uitwerken
6 Pak werkblad 7-1. Teken een grafiek van je proef waarin je de frequentie uitzet tegen de massa.
7 Welke conclusie kun je trekken uit de grafiek?
8 Wat zal er met de toon van een stemvork gebeuren als je aan elk been een massastuk vastschroeft?

▼ **tabel 6** de resultaten van proef 5

	meting 1	meting 2	meting 3	gemiddelde	T (s)	f (Hz)
zaagblad met 50 g						
zaagblad met 100 g						
zaagblad met 150 g						

Proef 6 Een onderzoek uitvoeren: het gevaar van harde muziek 45 min

Inleiding
Stel je voor: je leest in de Spits dat gehoorschade bij jongeren door muziek een “onderschat en groeiend probleem” is. Volgens GGD-onderzoeker Donné Schmidt heeft het “veel te harde” geluid op festivals en in discotheken “een enorme impact”. Andere boosdoeners zijn mp3-spelers en smartphones die meestal veel te hard staan. Volgens Schmidt heeft meer dan de helft van de jongvolwassenen een gehoorverlies van minstens 10 dB. Jij vraagt je af of het allemaal zo erg is en besluit om zelf een onderzoek uit te voeren.

Doel
Bij deze proef ga je een onderzoek doen naar geluidniveaus van muziek om te bepalen hoeveel risico de luisteraars lopen. Bedenk zelf een goede onderzoeksvraag voor dit onderzoek.

Nodig
Je kunt het onderzoek uitvoeren met een smartphone of tablet, waarop je een geschikte app hebt gezet. Je kunt zo’n app vinden door “gehoor apps” of “decibelmeter apps” in te typen (inclusief de aanhalingstekens).

Uitvoeren en uitwerken
– Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Hoe ga je na hoe hard het geluid ‘normaal’ staat voor jouw luisteraars? Hoe ga je de geluidssterkte meten (en heb je daarvoor wel de juiste app gekozen)? Hoe ga je een verband leggen tussen jouw meetresultaten en de risico’s die de luisteraars lopen?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

– De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
– Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

– Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Test Jezelf

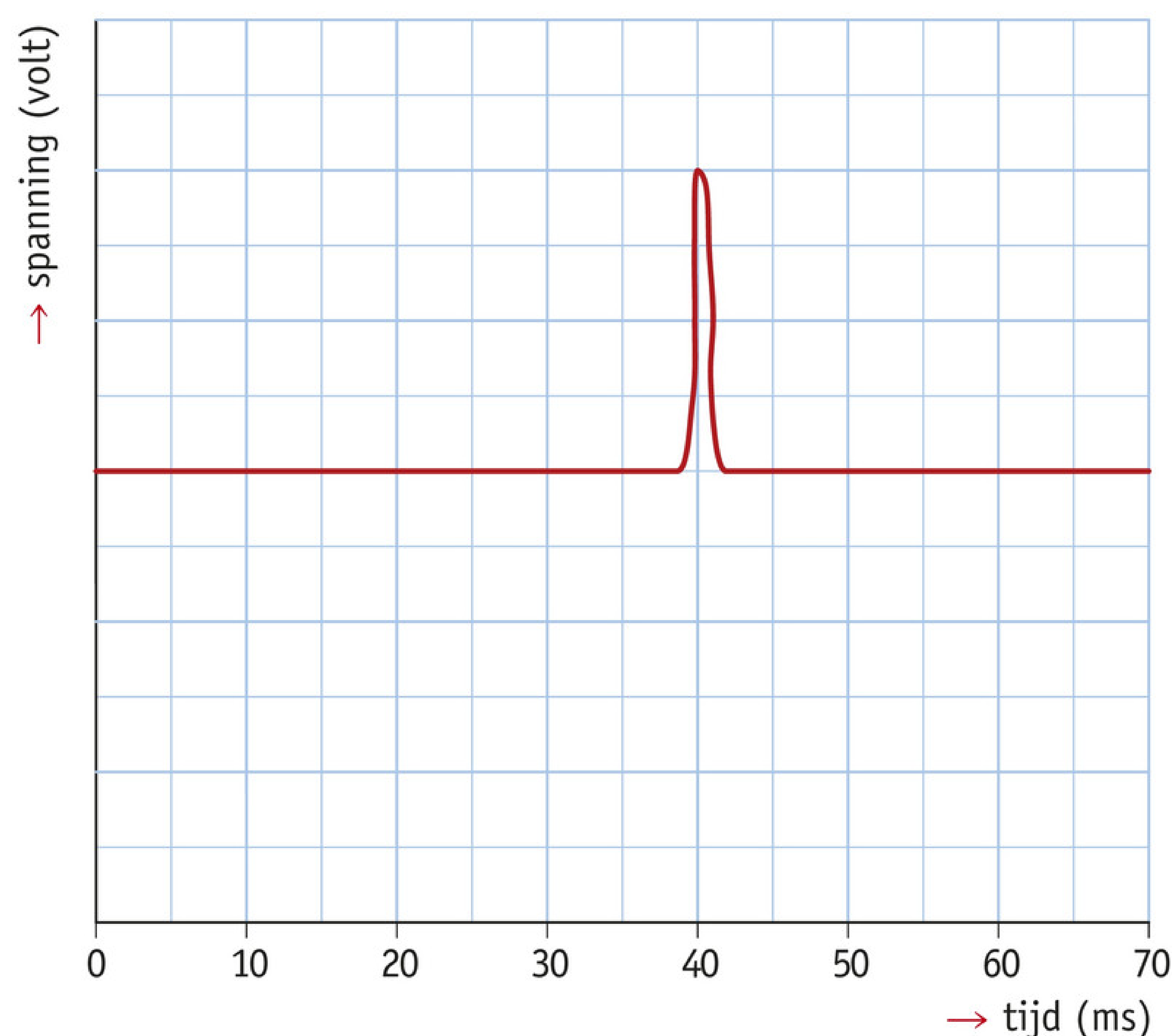
Je kunt de vragen 1 t/m 16 ook maken met de computer.

1 Bekijk de volgende grootheden en eenheden: decibel – frequentie – geluidssnelheid – geluidssterkte – golflengte – hertz – meter – meter per seconde – seconde – trillingstijd
- **a** Maak een tabel. Plaats in de linkerkolom alle grootheden, in alfabetische volgorde.
- **b** Zet in de rechterkolom achter elke grootheid de bijbehorende eenheid.

2 Daan zit in de klas en hoort in het aangrenzende lokaal een leerling fluiten. Door welke twee tussenstoffen verplaatst het geluid zich hoofdzakelijk van die leerling naar Daans oren? Kies uit: *baksteen – glas – glaswol – hout – lucht – papier – water*

3 Kate ziet op 136 m boven haar hoofd een vuurpijl ontploffen. De geluidssnelheid bedraagt 340 m/s. Bereken hoeveel later Kate de knal hoort.

4 Om de geluidssnelheid in rubber te bepalen, stuurt Gerben op $t = 0$ s een geluidspuls door een rubber staaf van 2,0 m lengte. Aan het andere uiteinde van de staaf registreert een sensor de aankomst van de puls. De sensor is aangesloten op een computer die de meetresultaten weergeeft in een grafiek (figuur 43).



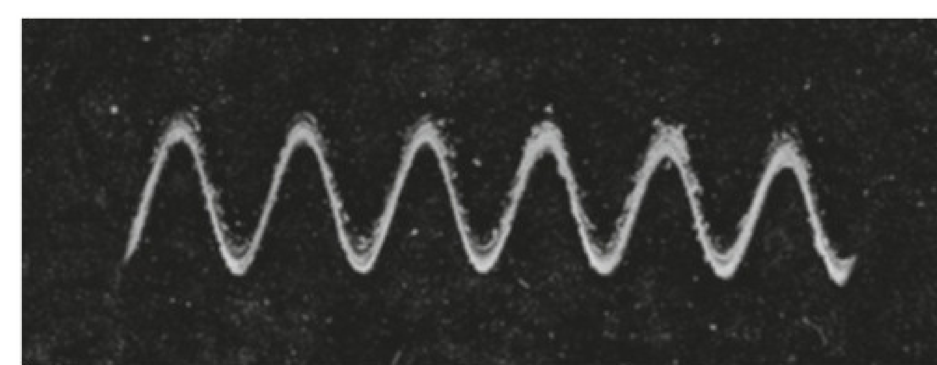
▲ **figuur 43**
Hoe groot is de geluidssnelheid in rubber?

- **a** Na hoeveel tijd kwam de puls bij de sensor aan?
- **b** Bereken de geluidssnelheid in rubber in m/s. Geef je antwoord zonder cijfers achter de komma.

5 Een oceanograaf wil de diepte van de zee bepalen. Vanuit het onderzoeksschip stuurt een zender een geluidssignaal verticaal naar beneden. Na 3,0 s vangt de ontvanger naast de zender de echo weer op. De geluidssnelheid in zeewater is 1,5 km/s. Bereken hoe diep de zee is.

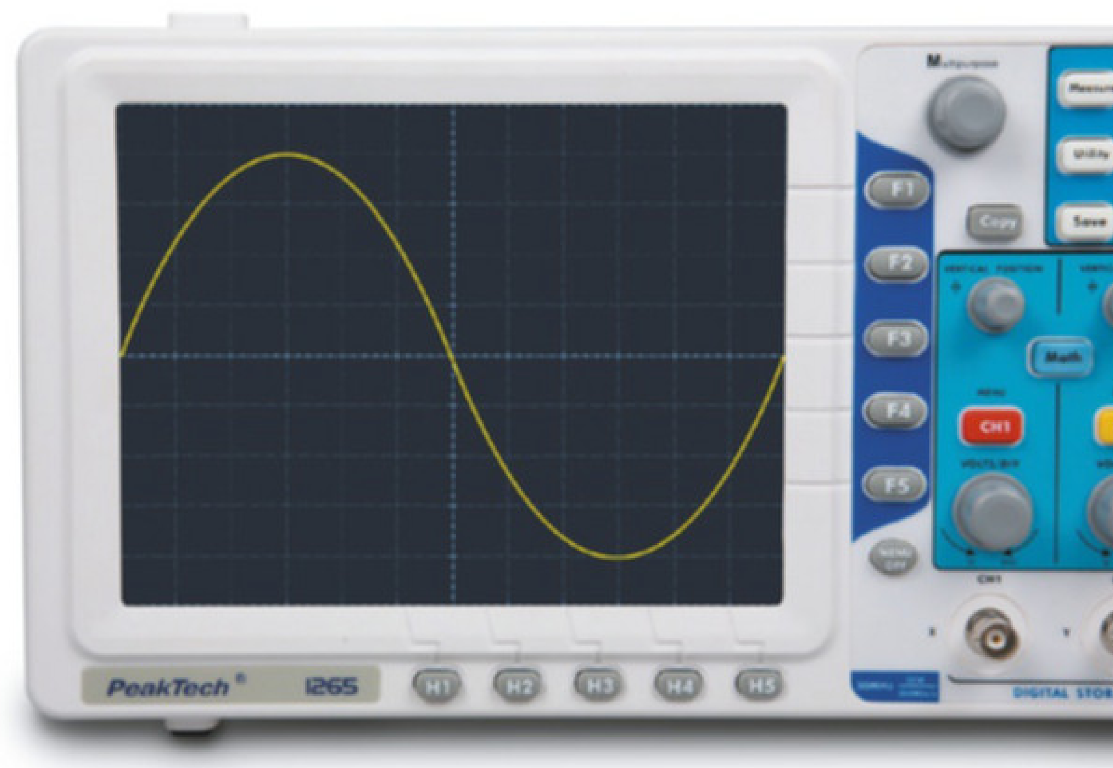
6 Een gitarist draait een snaar iets losser.
- **a** Geeft de snaar bij het aanslaan daardoor een hogere of lagere toon of blijft deze gelijk?
- **b** De gitarist maakt de snaar korter door met zijn vinger ergens op de snaar te drukken. Verandert de frequentie? Zo ja, wordt deze groter of kleiner?

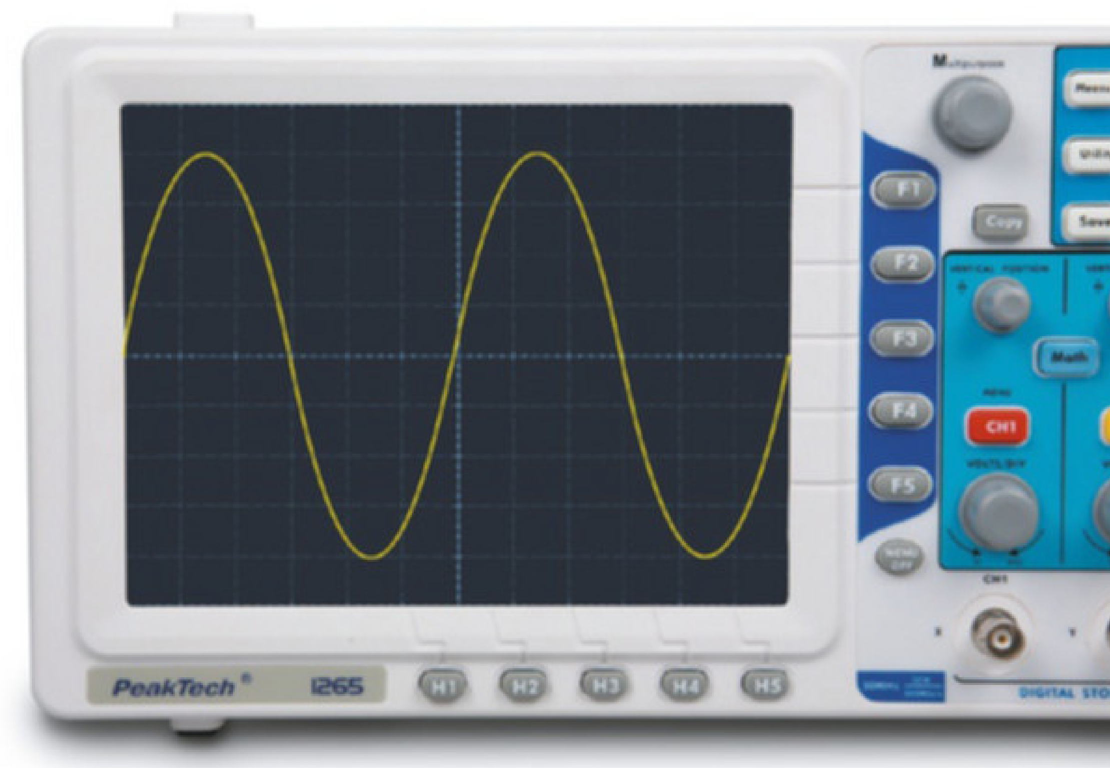
7 Marco slaat een stemvork aan. Daarna trekt hij het scherpe haakje dat aan een van de beide benen vastzit, over een beroete plaat. Hij krijgt het spoor van figuur 44. Het golfspoor is in 0,030 s gemaakt.
- **a** Hoeveel trillingen zijn er in het golfspoor zichtbaar?
- **b** Bereken de frequentie van de trillende stemvork.



▲ **figuur 44**
een golfspoor

8 Met een stemvork wordt twee keer tegen de tafelrand geslagen. Eerst zacht, dan hard. Wat verandert er aan de geluidstrilling?
- **A** alleen de amplitude
- **B** alleen de frequentie
- **C** alleen de trillingstijd
- **D** de amplitude en de frequentie
- **E** de frequentie en de trillingstijd





▲ **figuur 45**
de oscilloscoopbeelden van twee tonen

9 Op een oscilloscoop is twee keer een toon afgebeeld (figuur 45).

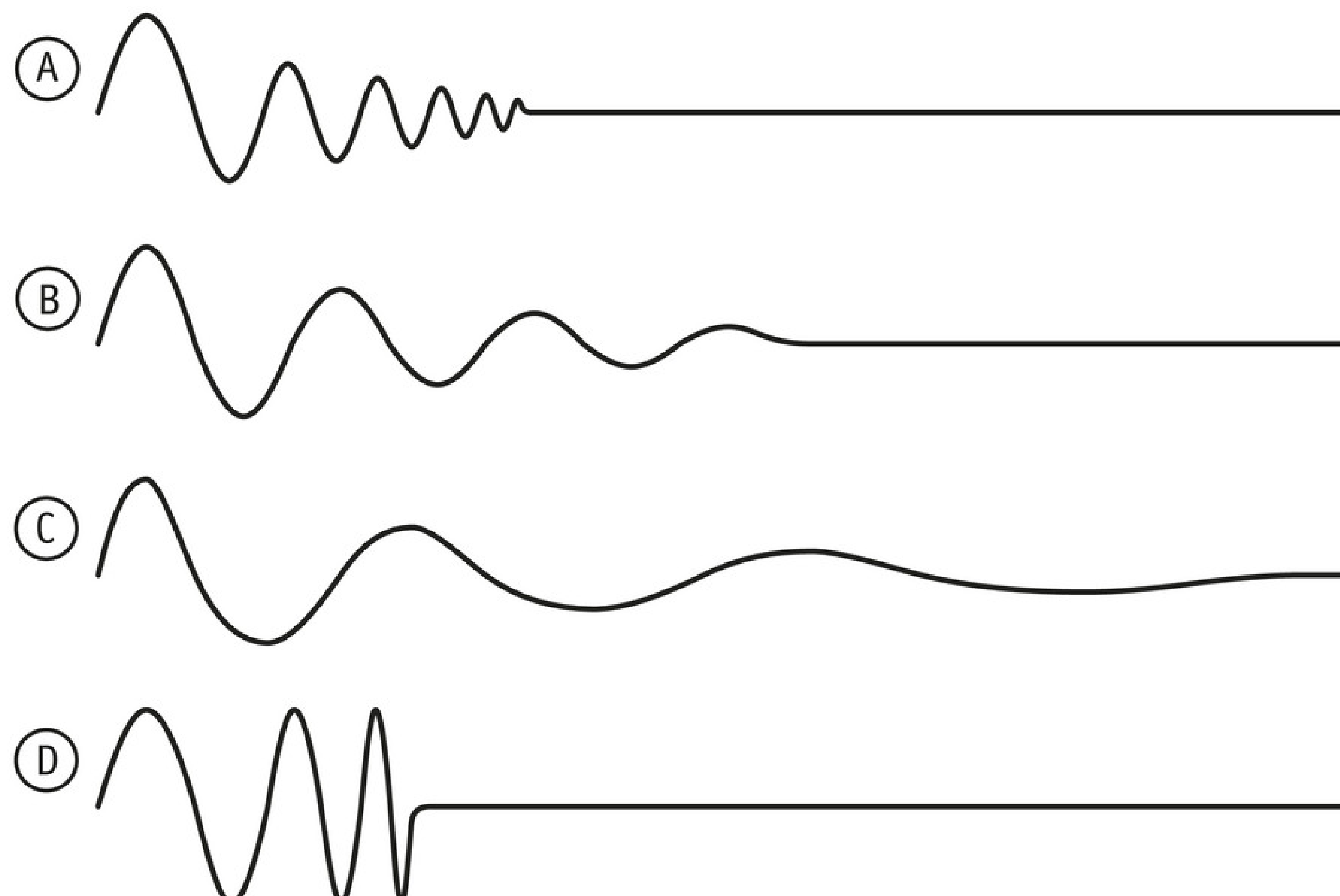
a De tijdbasis in figuur 45a is ingesteld op 0,2 ms/div.
Bepaal de frequentie (in Hz) van deze toon.

b De toon van figuur 45b heeft een frequentie van 100 Hz.
Bepaal de tijdbasis (in ms/div) die hier gebruikt is.

10 Een hommel maakt met zijn vleugels een brommend geluid. De frequentie van dat geluid is 250 Hz.

a Bereken hoe lang een volledige trilling van de vleugels duurt.

b Om het vlieggedrag van de hommel goed te kunnen bestuderen, maakt een bioloog opnames met een 'snelle' camera. Deze camera maakt 4000 beelden per seconde.
Bereken hoeveel verschillende beelden er zo van een volledige vleugelbeweging kunnen worden gemaakt.



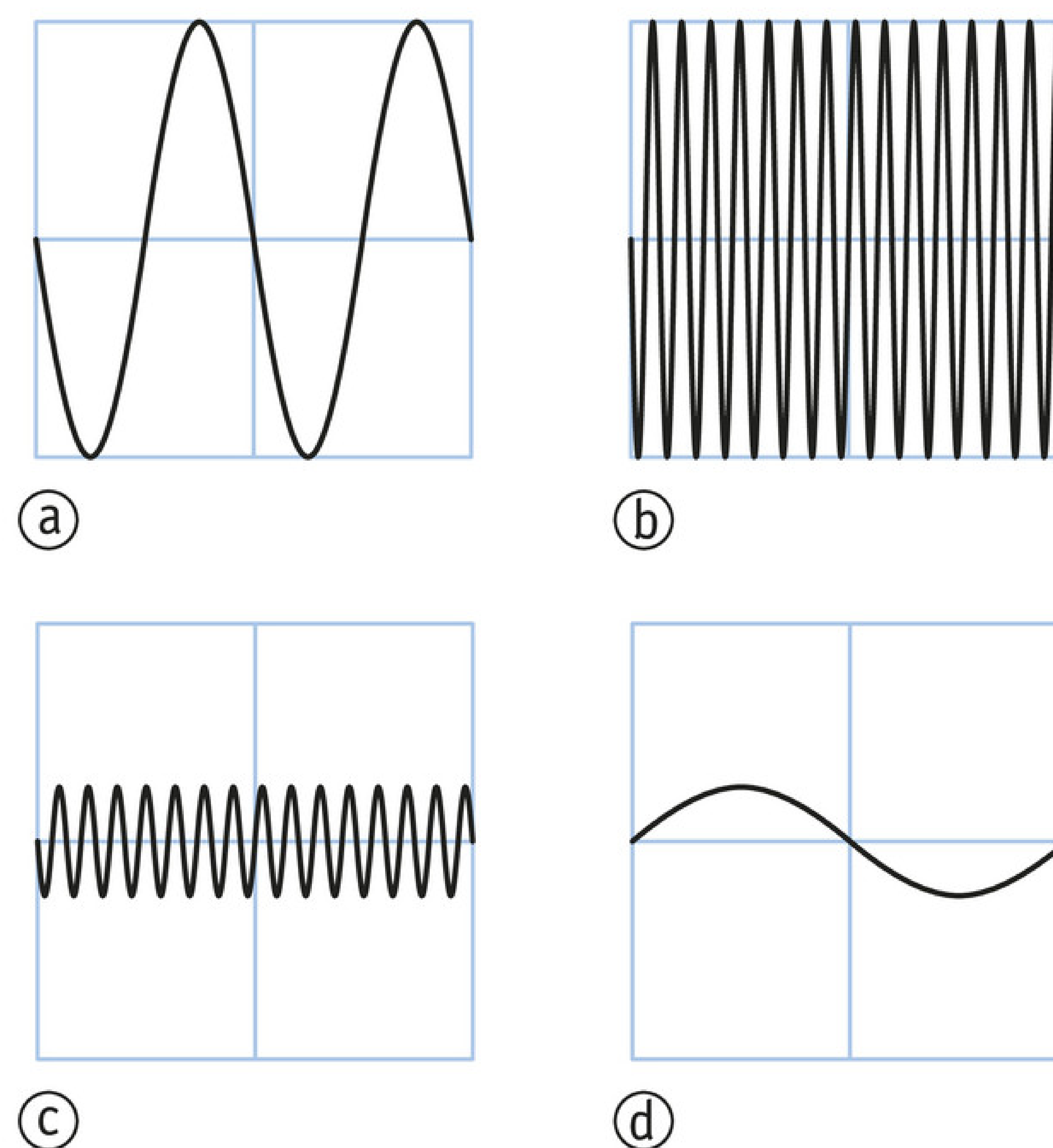
▲ **figuur 46**
In welke figuur zie je de snel uitdovende trilling van een stemvork?

11 Een stemvork met een scherp haakje aan het uiteinde van een van de benen wordt van links naar rechts over een beroete glasplaat getrokken. Dit gebeurt met constante snelheid. De trilling dooft daarbij snel uit (figuur 46).
In welk van de vier figuren is dit het beste weergegeven: A, B, C of D?

12 In figuur 47 zie je vier verschillende beelden van een oscilloscoopscherm (met steeds dezelfde instelling).
Welke twee beelden:

a geven de geluiden weer met de hoogste frequentie?

b geven de geluiden weer met de grootste geluidssterkte?



▲ **figuur 47**
de oscilloscoopbeelden van vier verschillende geluiden

13 Bij een solo van een saxofonist meet Tom op vijf meter van het podium een (gemiddelde) geluidssterkte van 93 dB. Even later doen er nog drie andere saxofonisten mee die allen even hard spelen.
Wat zal de decibelmeter nu aangeven?

14 Bekijk vijf manieren om geluidsoverlast tegen te gaan. Noteer achter elke manier of het gaat om:
- een maatregel bij de bron (B);
- een maatregel tussen bron en ontvanger (T);
- een maatregel bij de ontvanger (O).

a isolatiemateriaal op de binnenkant van de motorkap van een auto aanbrengen
b lawaaiige vliegtuigen niet tot Nederland toelaten
c huizen isoleren die vlak bij een vliegveld liggen
d een geluidswal tussen snelweg en woonwijk aanleggen
e geluidsarm asfalt aanbrengen op doorgaande wegen

15 Noteer steeds de juiste mogelijkheid.
Materiaal dat geluid moet absorberen, zoals *beton / glaswol,* is *hard / zacht en glad / poreus.* Als je een muur bekleedt met dit materiaal, laat hij daarna *meer / minder* geluid door. Dat kun je nagaan door de *geluidssterkte / frequentie* te meten van het doorgelaten geluid.

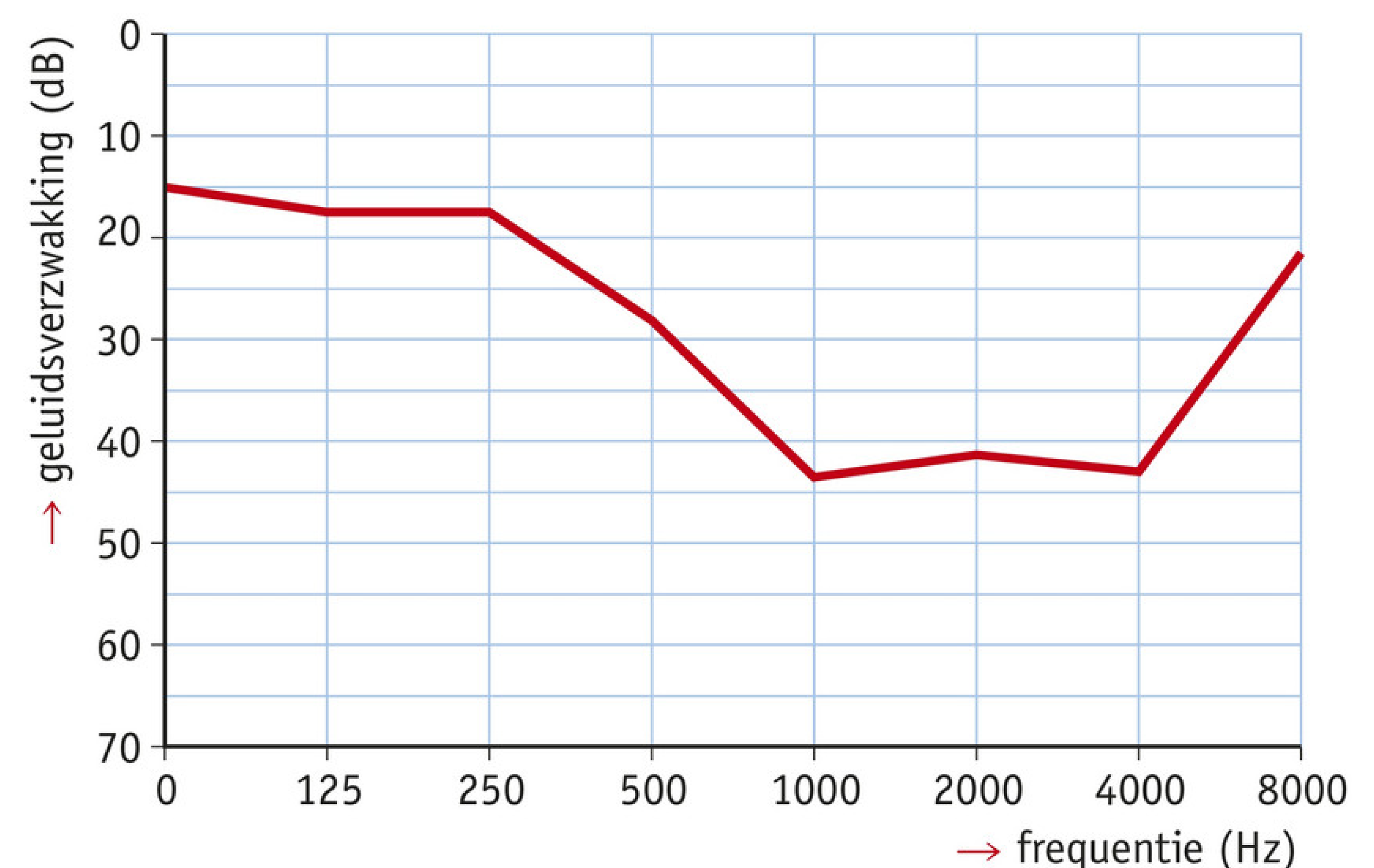
16 Noteer of de volgende beweringen waar (W) of onwaar (O) zijn.
a De geluidssterkte wordt meestal gemeten in hertz.
b Mensen kunnen tonen horen van 200 tot ongeveer 200 000 Hz.
c De pijngrens ligt in de buurt van 140 dB(A).
d Geluid van 60 dB(A) is niet gevaarlijk voor je gehoor.
e Geluidsschermen zijn bedoeld om geluid te weerkaatsen.
f Wanneer je wegloopt bij een puntvormige geluidsbron neemt de geluidssterkte sneller af dan wanneer je wegloopt bij een lineaire geluidsbron.
g Bij ultrasoon geluid is de trillingstijd zeer groot.

17 In een reclame voor stofzuigers staat dat het type Samsung VC-6012 een geluidsniveau van 74 dB(A) produceert.
a Wat betekent de A achter de eenheid dB?
b Wat is de fabrikant vergeten op te geven bij het vermelden van het geluidsniveau?

18 Giovanni zingt graag in de badkamer, omdat het daar zo heerlijk galmt.
Hoe komt het dat je in een badkamer meer galm hoort dan in een slaapkamer?

19 Het zaagblad van een cirkelzaag heeft 26 tandjes. Bij het zagen maakt het zaagblad 2400 omwentelingen per minuut. Je hoort dan een hoog snerpend geluid.
Bereken de frequentie van dit geluid. Schrijf de hele berekening zorgvuldig op. Rond het antwoord af op een geheel getal.

20 In de grafiek van figuur 48 is weergegeven hoe sterk het geluid wordt verzwakt als je oorkappen draagt.
a Hoe groot is de frequentie van het geluid dat het meest wordt verzwakt?
b Met hoeveel dB wordt de sterkte van dit geluid verminderd?



▲ **figuur 48**
Oorkappen beschermen je oren.

21 Aniek en Johan staan op 100 m van een hoge muur. Aniek klapt in haar handen. Zodra ze de echo hoort, klapt ze opnieuw. Dit herhaalt ze tot ze tien keer heeft geklapt. Johan heeft ondertussen gemeten hoe lang het klappen duurde: 5,5 s. Uit de meting kunnen Aniek en Johan een waarde voor de geluidssnelheid afleiden. Laat zien hoe zij dat moeten doen en welke waarde er uit hun meting volgt.



Onhoorbaar geluid in het ziekenhuis

Het allereerste filmpje dat van jou is gemaakt, werd 'gefilmd' met behulp van geluid. Een arts of verloskundige ging met een soort scanner over je moeders buik en op een beeldscherm verscheen jouw lichaam in foetushouding. Je had toen al oren, maar je zult het geluid van de scanner niet gehoord hebben. Het was namelijk ultrasoon geluid. Dit ultrasoon geluid wordt voor nog veel meer medische toepassingen gebruikt, bijvoorbeeld bij het opsporen van afwijkingen (diagnose) en bij het behandelen van ziekten (therapie).



Sonar

Zodra biologen hadden ontdekt hoe vleermuizen hun omgeving konden verkennen, gingen onderzoekers en uitvinders op zoek naar manieren om met geluid dingen zichtbaar te maken die wij niet met onze ogen kunnen zien. Het eerste apparaat waarin deze techniek werd toegepast, was de sonar.
In 1912 werd het eerste patent aangevraagd voor een methode om met echo's voorwerpen onder water op te sporen. Voor de *Titanic* kwam dit te laat. Dit schip zonk een maand eerder, omdat het tegen een ijsberg aan was gevaren.
Tegenwoordig is het gebruik van sonar heel gewoon. Moderne sonarapparaten zijn al zo goedkoop en klein dat hengelsporters ze gebruiken om vanuit hun bootje vis op te sporen.

Tegenwoordig is het gebruik van sonar heel gewoon.

Artsen en medisch onderzoekers kwamen al snel op het idee dat het mogelijk moest zijn om met een soort sonarsysteem in het menselijk lichaam te kijken. Omdat de organen in een menselijk lichaam veel kleiner zijn dan bijvoorbeeld een duikboot onder water, moest de golflengte van het geluid kleiner zijn dan bij sonar. De frequentie moest omhoog, het geluid moest ultrasoon worden.

Echografie

Deze nieuwe manier om beelden van het lichaam te maken met ultrageluid, werd echografie genoemd. De eerste experimenten met echografie werden tijdens en vlak na de Tweede Wereldoorlog in Oostenrijk en Duitsland uitgevoerd. De onderzoekers probeerden met deze techniek de ligging van hersentumoren te bepalen. Het lukte ze om een heel vaag beeld van de hersenen te krijgen.

Tegenwoordig wordt echo-onderzoek steeds meer toegepast. De bron van de geluidsgolven is de zogenaamde *transducer*. Een *transducer* werkt met piëzo-elektrische kristallen. Als je zo'n kristal onder spanning zet, gaat het trillen en zendt het een korte puls ultrageluid uit.
Vanuit de *transducer* gaat het geluid door het lichaam. Bij een overgang van het ene weefsel naar het andere ontstaat er een terugkaatsing van het geluid. Dat komt doordat de geluidssnelheid voor elk type weefsel anders is.
De teruggekaatste geluidsgolven worden door de *transducer* opgevangen. De kristallen in de transducer kunnen namelijk ook als antennes werken: de teruggekaatste geluidsgolven veroorzaken trillingen in de kristallen en die worden omgezet in elektrische signalen. Een computer zet die signalen vervolgens om in een beeld.

Voordat een arts of verpleegkundige een *transducer* over bijvoorbeeld de buik van een zwangere vrouw beweegt, smeert hij een speciale gel op de huid. De gel is nodig om een goed contact te kunnen maken tussen de *transducer* en het lichaam. Als er lucht tussen beide zit, ontstaat er een enorm sterke reflectie doordat de dichtheid van lucht veel lager is dan die van het lichaam. De geluidsgolven worden dan teruggekaatst en gaan niet meer het lichaam in. De reflecties uit het lichaam zijn dan niet te zien.

3D

Door de *transducer* te bewegen en door de reflecties van de verschillende kristallen naast elkaar weer te geven, kan de computer een driedimensionaal beeld maken van een deel van het lichaam. Het bestuderen van die beelden wordt echoscopie genoemd. Echoscopie heeft een belangrijk voordeel boven andere manieren om beelden te maken. Zo kun je op een röntgenfoto bijvoorbeeld geen zachte weefsels zien en op een echo wel.



De beelden van een 3D-echo zijn redelijk duidelijk. Toch gaat er informatie verloren doordat de beelden vaak alleen op een gewoon beeldscherm bekeken kunnen worden. Het 3D-beeld is dan eigenlijk 2D.
Zelfs artsen vinden het soms lastig om echobeelden goed te interpreteren. Het Erasmus Medisch Centrum in Rotterdam heeft daar iets op gevonden: de *I-space*. Dit is een speciale 3D-bioscoop waar artsen echte 3D-beelden van ongeboren baby's kunnen bekijken. De arts zet een speciale bril op en ziet de foetus voor zich in de ruimte hangen. Met een controller kan hij de foetus draaien en deze van verschillende kanten bekijken. De foetus lijkt echt in de ruimte aanwezig en daarom wordt dit soort beelden ook wel aangeduid met *virtual reality*.

Kankertherapie

Ultrageluid wordt niet alleen gebruikt bij het stellen van een diagnose, maar ook bij allerlei vormen van therapie. Zo kan met ultrageluid bijvoorbeeld kanker behandeld worden. Mensen met kanker hebben cellen in hun lichaam die zich abnormaal delen waardoor er een tumor ontstaat. Met medicijnen proberen artsen zo'n gezwel te vernietigen, maar het is lastig om die medicijnen precies op de juiste plaats te krijgen. Bij de vaak toegepaste chemotherapie worden onbedoeld ook gezonde cellen door de medicijnen aangevallen. Dat kan nare bijverschijnselen geven zoals misselijkheid en diarree.

Sinds kort is er een alternatief voor de manier waarop chemo wordt toegediend. De medicijnen worden nu in zeer kleine bolletjes naar de tumor gebracht. De bolletjes, nanocapsules genoemd, hopen zich daar op en gaan dan open zodat de medicijnen hun werk kunnen doen. Dat klinkt goed, maar artsen vinden dat het nog te lang duurt voordat de bolletjes daadwerkelijk de medicijnen afleveren. Daarom hebben onderzoekers van de Technische Universiteit Eindhoven en van Philips iets anders bedacht. Ze maken gebruik van het verschijnsel dat de temperatuur omhooggaat als er ultrageluid door het lichaam wordt opgenomen. De onderzoekers hebben nanocapsules gemaakt die alleen opengaan als ze warmer worden dan 42 graden Celsius. Zodra de capsules zich in de tumor hebben verzameld, wordt er een bundel ultrageluid op de tumor gericht. De tumor wordt warmer, de capsules gaan snel open en de medicijnen kunnen aan het werk.

Opgaven

1 Echografie wordt onder andere gebruikt om de foetus in de buik van zwangere vrouwen zichtbaar te maken.

a Waarom wordt de foetus wel zichtbaar (wit-grijs), maar geeft het vruchtwater eromheen alleen een zwart beeld?

b Echografie wordt ook gebruikt voor onderzoek naar het hart. Dat heet echocardiografie. Wat zouden artsen willen kunnen zien op een echo van een hart?

c Waarom is de I-space in Rotterdam ook nuttig voor cardiologen (artsen die gespecialiseerd zijn in het hart)?

d Botten en organen met lucht erin (zoals de longen) zijn niet goed met echografie te onderzoeken. Ze geven namelijk een volledig wit beeld.
Leg uit hoe dat komt.

2 Sommige mensen krijgen last van zogenaamde nierstenen. Dat zijn kristallen die ontstaan uit urine. In het ziekenhuis kunnen nierstenen worden kapotgemaakt met een 'vergruizer'. Dit apparaat werkt met ultrasoon geluid.

a Valt deze behandeling onder diagnose of onder therapie? (In de inleiding van het artikel worden deze termen uitgelegd.)

b Bedenk op welke andere manieren je nierstenen zou kunnen weghalen. Welk voordeel heeft de ultrasoonmethode?

3 Om de plaats van de reflectie te berekenen, gaat de computer bij het maken van een echo uit van een gemiddelde geluidssnelheid van 1540 m/s. In vet is de gemiddelde snelheid lager, namelijk tussen 1462 en 1473 m/s.
Er wordt een echo gemaakt van iemand die aan obesitas lijdt. Leg uit of de vetlaag in de echo te dik, te dun of precies goed wordt afgebeeld.

4 Onderzoekers van de TU Eindhoven en van Philips hebben nieuwe behandelmethoden voor kanker ontwikkeld. Bij deze methoden wordt gewerkt met nanocapsules die pas bij 42 graden Celsius opengaan.

a Leg uit waarom het belangrijk is dat de capsules niet bij lagere temperaturen opengaan.

b Vroeger werden tumoren verwarmd door er een naald in te steken. Die naald werd er van buiten het lichaam in gestoken. De tip van de naald zond radiogolven uit die warmte in de tumor veroorzaakten. Waarom was deze methode niet aantrekkelijk?

c Artsen die met de nieuwe methode werken, willen graag zien wat er tijdens de behandeling gebeurt. Daarom wordt de patiënt in een MRI-scanner geplaatst.
Zoek op hoe een MRI-scanner beelden kan maken van het inwendige van een mens.







8 Licht

Een wereld vol straling

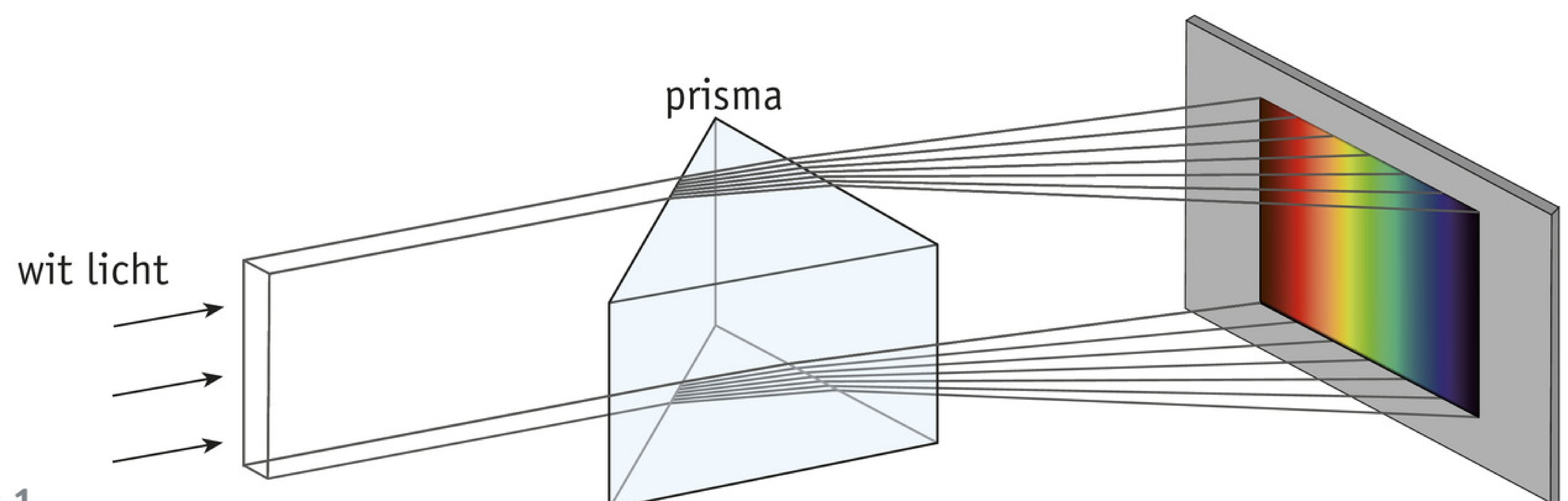
Licht is niet alleen nodig om dingen te kunnen zien, maar zorgt ook voor kleur en sfeer. Lichtontwerpers en architecten gebruiken licht om bijvoorbeeld een spectaculaire lichtshow te creëren of om een stadscentrum aantrekkelijk uit te lichten. Astronomen kunnen uit het licht van een ster veel over die ster te weten komen.

1 Licht en kleur

Voor de meeste mensen is de zon vooral een bron van licht en warmte. Voor wetenschappers is de zon niet alleen een bron van plezier, maar ook van kennis. Ze onderzoeken het zonlicht om erachter te komen hoe heet het op de zon is, hoe het gas in de zon beweegt en welke stoffen de zon bevat.

Het licht van de zon

De zon is een vrij kleine ster: een van de minstens tweehonderd miljard sterren in de Melkweg. Doordat de zon veel dichter bij de aarde staat dan de andere sterren, is hij voor ons de belangrijkste **natuurlijke lichtbron**. Zonder zonlicht zou er zelfs geen leven op aarde mogelijk zijn.
Het witte licht van de zon bestaat uit alle kleuren van de regenboog. Dat kun je aantonen door zonlicht onder de juiste hoek op een driehoekig stuk glas te laten vallen. Zo'n stuk glas heet een **prisma** (Grieks voor 'het afgezaagde'). Op een scherm achter het prisma is dan een reeks kleuren te zien: rood, oranje, geel, groen, blauw en violet (figuur 1). Zo'n reeks kleuren wordt een **spectrum** genoemd.



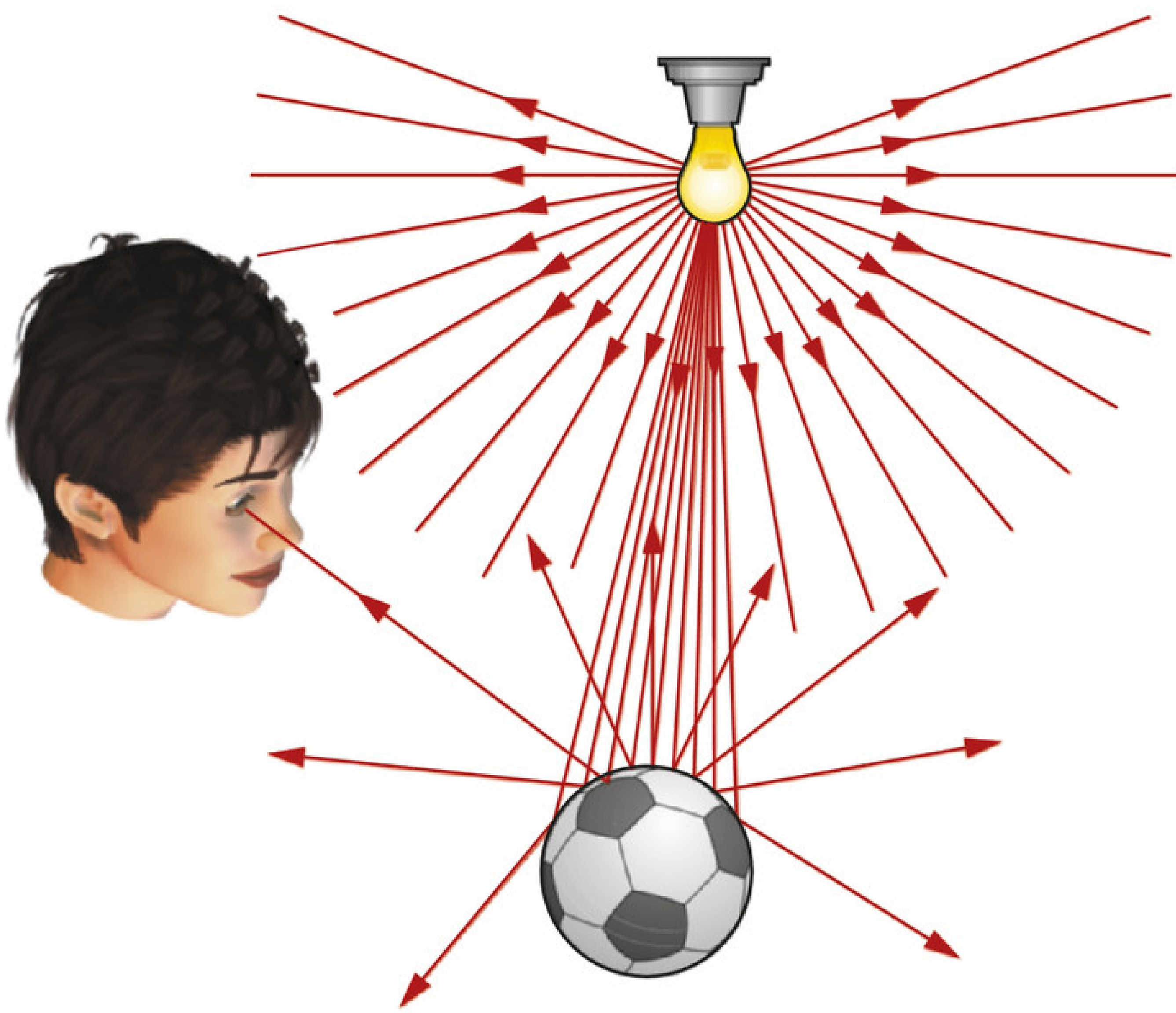
▶ **figuur 1**
een spectrum maken met een prisma

Met een tweede prisma kun je de verschillende kleuren licht in het spectrum weer met elkaar mengen. Je krijgt dan het oorspronkelijke witte zonlicht terug. Met dit soort proeven kun je laten zien dat zonlicht een mengsel is van verschillende **spectraalkleuren**. Dat zijn de zuivere kleuren in het spectrum.

Licht kun je je voorstellen als golven die zich voortplanten door de ruimte. Mensenogen zijn alleen maar geschikt om straling te zien waarvan de golflengte ligt tussen 400 nanometer en 750 nanometer (een nanometer of nm is een miljardste meter). Dat is het gebied van het **zichtbaar licht**. De kleur van licht hangt af van de golflengte. Rood licht heeft een golflengte van ongeveer 750 nm en paars licht van 400 nm. De golflengten van de andere kleuren liggen daartussenin.

Je omgeving zien

De meeste dingen om je heen geven zelf geen licht. Je kunt ze alleen zien wanneer ze verlicht worden. Het licht dat op het voorwerp valt, wordt dan **diffuus** (in alle richtingen) **teruggekaatst**. Je ziet het voorwerp alleen als een deel van dit teruggekaatste licht in je ogen terechtkomt (figuur 2).



▲ **figuur 2**
Dankzij diffuse terugkaatsing kun je voorwerpen zien.

Overdag worden de dingen om je heen door de zon verlicht. Je ziet de wereld dan 'in kleur'. De verschillende kleuren ontstaan doordat veel voorwerpen het zonlicht maar gedeeltelijk weerkaatsen. Zo weerkaatst een rood voorwerp vooral de spectraalkleur rood en een blauw voorwerp vooral de spectraalkleur blauw. Het overige licht wordt door het voorwerp geabsorbeerd en omgezet in warmte.

Witte voorwerpen kaatsen bijna al het zonlicht terug. Alle spectraalkleuren worden daarbij even sterk weerkaatst. Het teruggekaatste licht heeft daardoor dezelfde samenstelling als het oorspronkelijke zonlicht en dus zie je het voorwerp als wit. Zwarte voorwerpen kaatsen juist heel weinig licht terug, bijna al het zonlicht wordt geabsorbeerd. Er komt geen licht in je ogen en je ziet het voorwerp als zwart.

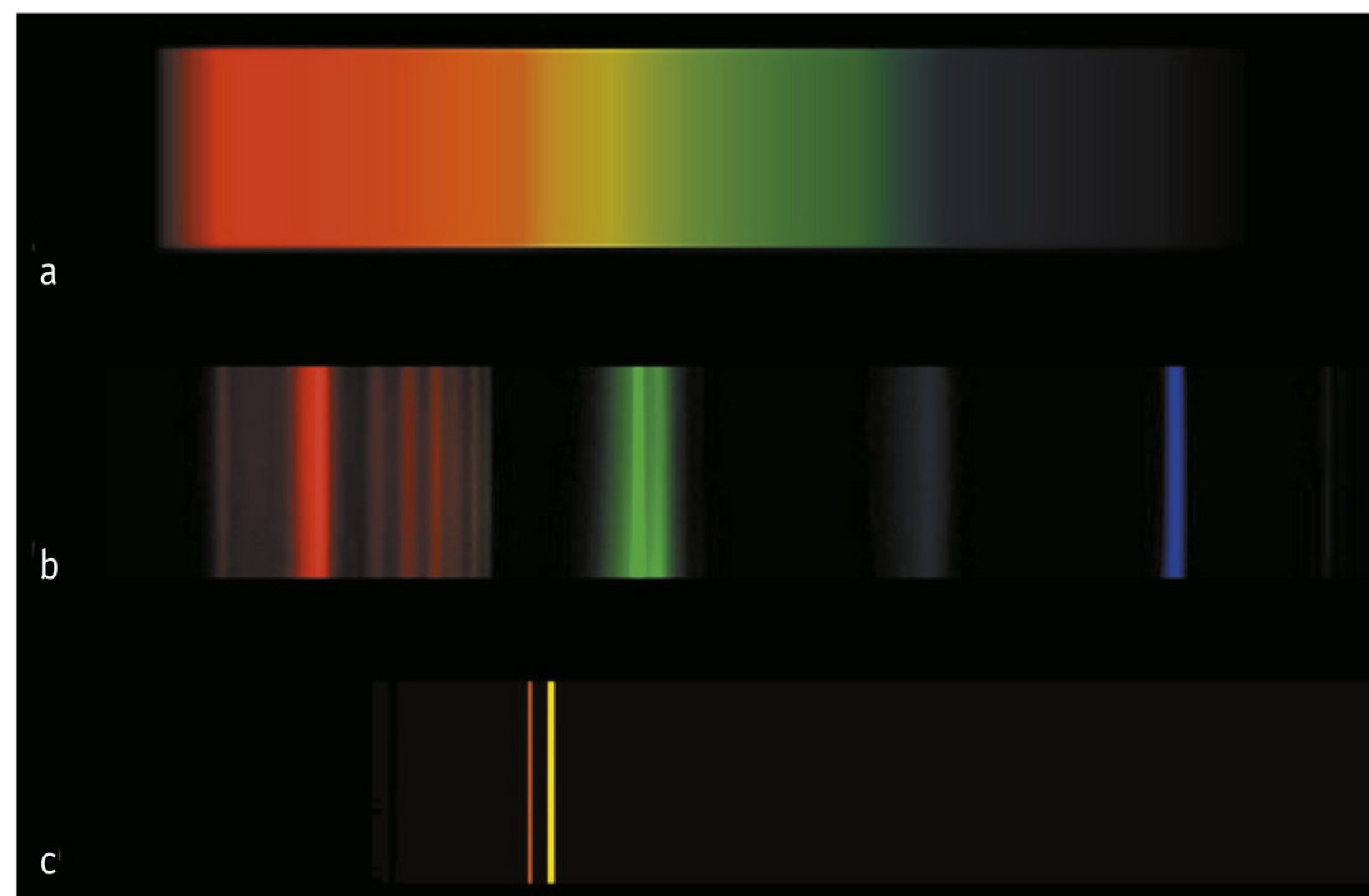
Het spectrum van lamplicht Proef 1

Kaarsen, spaarlampen en tl-buizen zijn **kunstmatige lichtbronnen**: ze zijn door de mens gemaakt. Ook deze lichtbronnen hebben een spectrum. Als je met een **spectroscoop** naar een lamp kijkt, zie je een spectrum van het lamplicht (figuur 3). Zo kun je vaststellen uit welke spectraalkleuren het licht van de lamp bestaat.



▲ **figuur 3**
Zo gebruik je een zakspectroscoop.

Een halogeenlamp en een tl-buis geven allebei wit licht. Maar hun spectra zijn heel verschillend. Het spectrum van een halogeenlamp is heel gelijkmatig, net als dat van zonlicht (figuur 4a). In het spectrum van een tl-buis overheersen bepaalde spectraalkleuren (de heldere lijnen), terwijl andere spectraalkleuren heel zwak zijn (figuur 4b). Daardoor zien kleuren er in tl-licht anders uit dan in zonlicht.



▶ **figuur 4**
het spectrum van een halogeenlamp (a), een tl-buis (b) en een natriumlamp (c)

Natriumlampen Proef 2

Er bestaan ook lichtbronnen die maar één kleur licht geven. Een **natriumlamp** (van het type 'SOX', ook wel lagedruknatriumlamp genoemd) geeft bijvoorbeeld licht met een zuiver gele kleur. Het spectrum bestaat slechts uit twee smalle lijntjes in het gele gebied (figuur 4c). Soms zie je ook nog een oranje lijntje; dat is afkomstig van het gas neon.



▲ figuur 5
Dit straatje wordt verlicht door SOX-natriumlampen.

In het licht van een natriumlamp ziet de wereld er heel anders uit dan je gewend bent (figuur 5). Een paarse trui lijkt bijvoorbeeld donkergrijs of zwart. Dat komt doordat de trui het gele licht van de natriumlamp bijna volledig absorbeert. Een witte trui en een gele trui lijken onder een natriumlamp allebei geel. Het gele licht van de natriumlamp wordt door de twee truien even sterk teruggekaatst.

Kleuren zien op een beeldscherm

Een beeldscherm is opgebouwd uit lichtgevende streepjes, puntjes of vierkantjes die **subpixels** worden genoemd. Wat hun vorm ook is, de subpixels hebben altijd dezelfde drie kleuren: rood, groen en blauw. Dat kun je zien als je een beeldscherm met een sterk vergrootglas bekijkt. Van een normale afstand bekeken smelten de afzonderlijke subpixels samen tot één beeld, met allerlei kleuren.

Elke subpixel kan apart in- en uitgeschakeld worden. In een rood stukje beeld lichten alleen de rode subpixels op, in een groen stukje beeld alleen de groene subpixels, enzovoort. Andere kleuren worden gemaakt door rood, groen en blauw licht met elkaar te mengen. Geel wordt bijvoorbeeld gemaakt door de rode en groene subpixels tegelijk te laten oplichten. Groen en rood licht geven gemengd dezelfde indruk als zuiver geel licht (figuur 6).

Dat rood en groen licht samen geel opleveren, heeft te maken met de manier waarop je ogen werken. In het netvlies komen drie soorten kegeltjes (lichtgevoelige cellen) voor, elk met zijn eigen kleurgevoeligheid. Soort A reageert op rood, oranje en geel licht, soort B op geel, groen en blauwgroen licht en soort C op blauwgroen, blauw en violet licht. Een mengsel van rood en groen licht laat de kegeltjes A en B reageren en daarom zie je de kleur geel.



◄ figuur 6
het mengen van gekleurd licht

Plus Lasers

Een **laser** geeft licht van maar één spectraalkleur. Die kleur hangt af van het soort laser: een neonlaser bijvoorbeeld geeft licht met een zuiver rode kleur. Licht met maar één spectraalkleur heet **monochromatisch**. De lichtbundel van de laser heeft nog een andere en unieke eigenschap. Het is een heel smalle evenwijdige lichtbundel die ook over grote afstanden bijna niet breder wordt (divergeert) zie figuur 7. Er zijn laserbundels waarmee onderzoekers op de maan kunnen schijnen. Daar staat een spiegel die de bundel terugkaatst naar de aarde. Uit de tijd die de bundel onderweg is, kan dan de afstand van de maan tot de aarde heel precies berekend worden.

Toen de laser ontwikkeld was, besefte men nog niet wat je er buiten de wetenschap mee zou kunnen doen. Het waren grote en dure apparaten. Tegenwoordig kun je voor een paar euro een laserpen kopen. Lasers worden nu gebruikt voor lasershows en om metaal en stoffen te snijden. Maar er zijn meer toepassingen: makelaars en aannemers meten er bijvoorbeeld afstanden mee. Ook zijn ze onmisbaar in dvd-spelers.
Pas op met lasers. Alle lasers kunnen gevaarlijk zijn: als je langere tijd laserlicht in je ogen krijgt, kan dat je ogen beschadigen.



◀ **figuur 7**
Laserstralen vertonen geen divergentie.

opgaven

1 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Uit welke zes spectraalkleuren bestaat het spectrum van zonlicht?
- **b** Wat doet een zwart voorwerp met zonlicht dat op het voorwerp valt?
- **c** Met welk instrument kun je het spectrum van een lichtbron onderzoeken?
- **d** Hoe ziet een wit voorwerp eruit onder het licht van een natriumlamp?
- **e** Tussen welke waarden liggen de golflengtes van zichtbaar licht?

2 Alex ziet een groene appel op tafel liggen.
Maak een tekening waarin je uitlegt hoe het komt dat Alex de appel kan zien. Leg ook uit waarom hij de appel als een groen voorwerp ziet.



▲ **figuur 8**
twee foto's van Marinda

3 In tabel 1 staan vier verschillend gekleurde kledingstukken en twee verschillende lampen: een die zuiver rood licht geeft en een die zuiver groen licht geeft.
Neem tabel 1 over en noteer:
a een + als het kledingstuk het licht grotendeels terugkaatst;
b een – als het kledingstuk het licht grotendeels absorbeert.

▼ **tabel 1** teruggekaatst of geabsorbeerd

kledingstuk	zuiver rood licht	zuiver groen licht
wit T-shirt		
groen T-shirt		
rood T-shirt		
zwart T-shirt		

4 Vergelijk de twee foto's in figuur 8.
a Welke foto is genomen bij helder wit daglicht?
b Bij wat voor licht is de andere foto genomen?
c In welke foto zijn de kleuren zoals ze echt zijn?
d Wat is de echte kleur van het koffiekopje van Marinda?
e Welke kleur heeft het koffiekopje in de andere foto?
f Waardoor wordt die afwijkende kleur veroorzaakt?

5 Bij het kiezen van lichtbronnen kijken mensen niet alleen naar de hoeveelheid licht. Het is ook belangrijk welke kleuren er in het licht zitten.
a Welke kleuren maken een warme indruk?
b Welke kleuren maken licht 'koel'?
c Waarom zal een tekenaar van stripverhalen boven zijn werktafel een lamp hebben hangen die helder wit, neutraal licht geeft?



▲ **figuur 9**
gegevens op de verpakking van een led-lamp

***6** Vroeger werden parkeerterreinen vaak verlicht door lagedruk-natriumlampen. Tegenwoordig wordt dit soort lampen steeds minder gebruikt, omdat de kleurherkenning bij dit soort lampen erg slecht is.
Leg uit hoe het komt:
a dat kleuren bij het licht van deze lampen niet te herkennen zijn;
b dat dit problemen geeft op grote parkeerplaatsen met veel auto's;
c dat mensen zich bij het licht van deze lampen eerder onveilig voelen.

7 Op de verpakking van lampen staat vaak de kleurtemperatuur vermeld. Daaraan kun je zien wat voor kleur het licht van de lamp heeft. Licht met een lage kleurtemperatuur (bijvoorbeeld 3000 K) bevat verhoudingsgewijs veel rood licht. Licht met een hoge kleurtemperatuur (bijvoorbeeld 6500 K) bevat verhoudingsgewijs veel blauw licht.
a Welke kleurtemperatuur staat vermeld op de verpakking in figuur 9?
b Wat voor indruk maakt het licht van deze lamp: warm, neutraal of koel?
c Is het licht van deze lamp geschikt om kleuren bij te beoordelen?
d Is het licht van deze lamp geschikt om een knusse sfeer te scheppen?

8 Het beeldscherm van een computer is opgebouwd uit subpixels.
a Welke kleuren hebben die subpixels?
b Welke subpixels lichten op:
- in een groen stukje van het beeld?
- in een geel stukje van het beeld?
- in een lichtblauw stukje van het beeld?

9 Soms kun je op de televisie een oude zwart-witfilm bekijken.
a Hoe maakt het beeldscherm de zwarte delen van het beeld?
b Hoe maakt het beeldscherm de witte delen van het beeld?
c Hoe maakt het beeldscherm de grijze delen van het beeld?

***10** Lees de tekst in figuur 10 over de RGB-code.
a Neem de volgende RGB-codes over en zet achter elke code welke kleur erbij hoort.
- (255, 0, 0)
- (0, 255, 0)
- (255, 255, 0)
- (255, 255, 255)
- (128, 128, 128)
- (128, 128, 255)

Gebruik de optie ‘kleuren bewerken’ in een programma zoals *Paint* om je antwoorden te controleren.
b De RGB-code is speciaal ontworpen om beeldschermkleuren mee te beschrijven.
Waaruit blijkt dat?

De RGB-code
In computerprogramma’s zoals Paint en Photoshop heeft elke kleur een code. Deze code wordt de RGB-code genoemd, van rood (R), groen (G) en blauw (B). Elke RGB-code bestaat uit drie getallen, van 0 tot 255. Deze getallen geven aan hoeveel rood, groen en blauw er in de kleur zit. Hoe groter het getal, des te meer rood, groen of blauw er is gebruikt.

Fel rood is in RGB-code (255, 0, 0): veel rood (255), geen groen (0) en geen blauw (0). Helder violet is (255, 0, 255): veel rood (255), geen groen (0) en veel blauw (255). Zwart is (0, 0, 0): geen rood, geen groen en geen blauw.

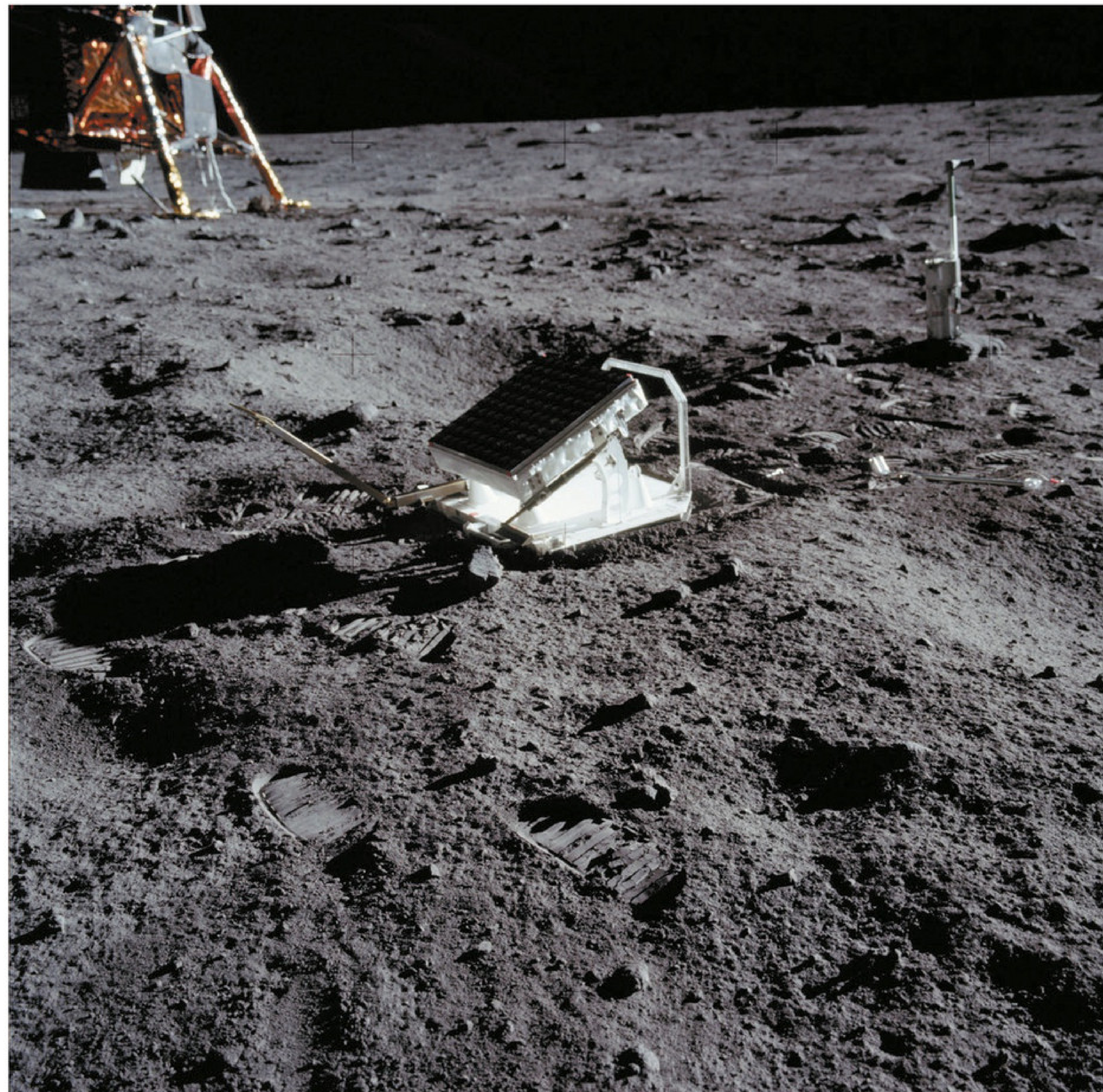
▲ **figuur 10**
de RGB-code

Plus Lasers

11 Laserlicht wordt op veel manieren gebruikt.
- **a** Geef twee kenmerken van laserlicht.
- **b** Noem drie toepassingen van laserlicht.

12 Leg uit hoe het komt dat de laserstraal in figuur 7 duidelijk zichtbaar is.

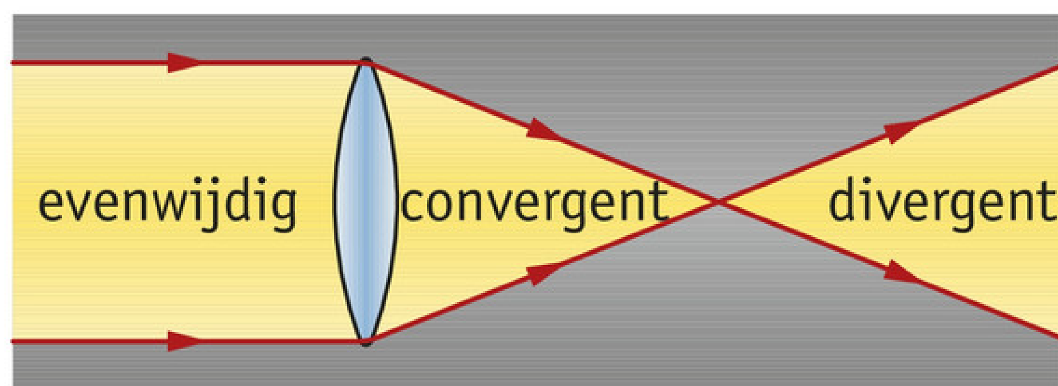
***13** Astronauten hebben in het verleden spiegels op de maan geplaatst (figuur 11). Een sterke laser schijnt vanaf de aarde op de spiegel en die kaatst het licht terug naar de aarde. Daarmee kan de afstand tussen maan en aarde op 1 mm nauwkeurig gemeten worden.
- **a** De astronauten die in het ruimtestation ISS naar buiten kijken, zullen deze laserstraal nooit kunnen zien. Leg uit hoe dat komt.
- **b** Leg uit hoe men met deze lasertechniek de afstand tot de maan kan bepalen.
- **c** Leg uit waarom dat maar op bepaalde momenten kan.
- **d** De snelheid van het licht is 299 792 km/s. Bereken de afstand aarde-maan als de teruggekaatste straal na 2,56444 s terugkomt op aarde.



▶ **figuur 11**
een spiegel op de maan

2 Reflectie en verstrooiing

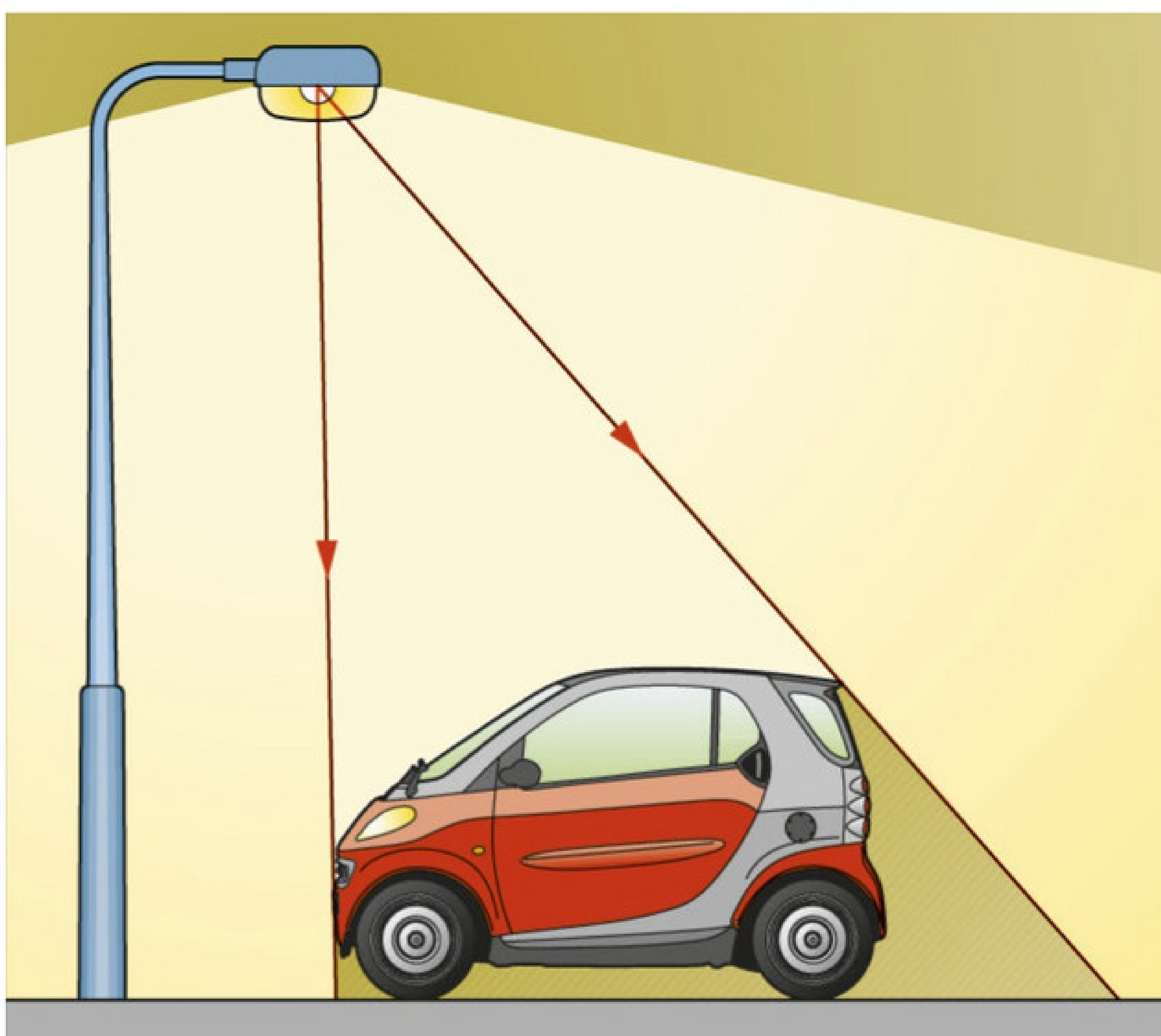
Op een hete zomerdag komt het licht op het strand van alle kanten: rechtstreeks van de zon, weerkaatst door het zand en de zee, verstrooid door de lucht boven je hoofd. Zelfs in de schaduw heb je nog een zonnebril nodig om niet met toegeknepen ogen te hoeven rondkijken.



▲ **figuur 12**
Met een lens maak je van een evenwijdige lichtbundel een convergente bundel die overgaat in een divergente bundel.

Licht en schaduw

Het licht dat door een lichtbron wordt uitgestraald, beweegt alle kanten op. Dat kun je aangeven door **lichtstralen** te tekenen. Die lichtstralen zijn recht, want licht beweegt langs rechte lijnen. Een verzameling lichtstralen wordt een **lichtbundel** genoemd. Soms is een lichtbundel **evenwijdig** (figuur 12), maar meestal lopen de lichtstralen uit elkaar. Dan is de lichtbundel **divergent** en wordt het licht steeds zwakker. Als lichtstralen naar elkaar toe gaan, heet de bundel **convergent**. Dan wordt het licht steeds sterker.



▲ **figuur 13**
Zo teken je de schaduw van een voorwerp.

Als een voorwerp het licht van de lichtbron gedeeltelijk tegenhoudt, ontstaat er een **schaduw**. Er is dan een gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen. Omdat licht langs rechte lijnen beweegt, kun je de grootte van het schaduwgebied eenvoudig bepalen (figuur 13):

1 Teken de twee lichtstralen die net niet door het voorwerp worden tegengehouden (de 'randstralen').
2 Arceer het gebied achter het voorwerp dat tussen de twee randstralen in ligt. Dit is het gebied waar het licht niet rechtstreeks kan komen.

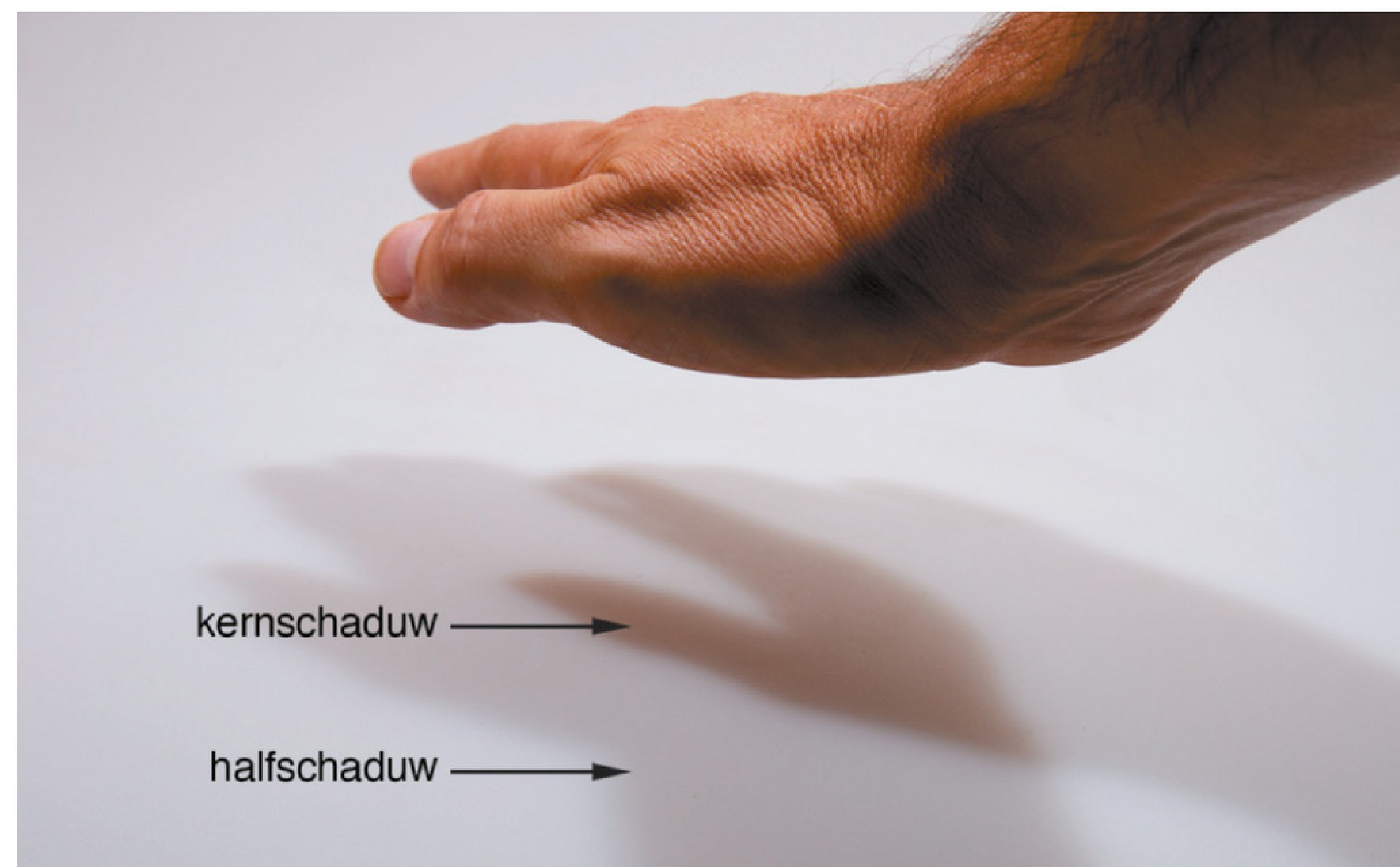
Direct licht Proef 3

Als mensen heel nauwkeurig moeten werken, zoals een onderzoeker in een lab, dan moet het werkvlak goed verlicht zijn. Daarvoor worden vaak lampen gebruikt die **direct licht** geven. Dat wil zeggen dat het licht rechtstreeks van de lichtbron naar het werkvlak gaat, zoals bij de laboratoriumlamp in figuur 14.

▶ **figuur 14**
een lamp die direct licht geeft



Een leeslamp is geen geschikte verlichting voor een werkblad met gereedschap en allerlei werkmateriaal. Er ontstaan dan overal donkere schaduwen met een scherpe grens tussen licht en donker. Daardoor kun je niet goed zien waar je mee bezig bent. De schaduwen leiden ook af van wat je eigenlijk moet zien.
Het helpt als je twee lampen naast elkaar ophangt. Je krijgt dan dubbele schaduwen, een voor elke lamp. Op de plaats waar die schaduwen over elkaar heen vallen, is het werkblad het donkerst. Dit noem je de **kernschaduw**. Links en rechts van de kernschaduw zie je een lichtere **halfschaduw**. Hier kan het licht van de ene lamp wel komen, maar van de andere lamp niet (figuur 15).



▶ **figuur 15**
kernschaduw en halfschaduw

Een tl-buis is een betere oplossing. Bij elke plek op het werkblad is er wel een stukje tl-buis dat die plek belicht. Dan krijg je vloeiende overgangen tussen licht en donker.

Indirect en diffuus licht

Een andere oplossing voor het 'schaduwprobleem' is het gebruik van indirect licht of van diffuus licht. In figuur 16 zie je een lamp die **indirect licht** levert. Het licht van de lamp schijnt niet rechtstreeks de kamer in, maar wordt op een witte muur gericht. De muur weerkaatst het opvallende lamplicht in verschillende richtingen. Het lijkt daardoor alsof de muur één groot lichtgevend vlak is: een **indirecte lichtbron**.



◀ **figuur 16**
een lamp die indirect licht geeft

In de lamp in figuur 17 wordt een andere manier gebruikt om 'zacht' licht te produceren. Het licht van de lamp valt op doorschijnend papier dat het licht in allerlei richtingen verstrooit. Het licht dat je op die manier krijgt, wordt **diffuus licht** genoemd.

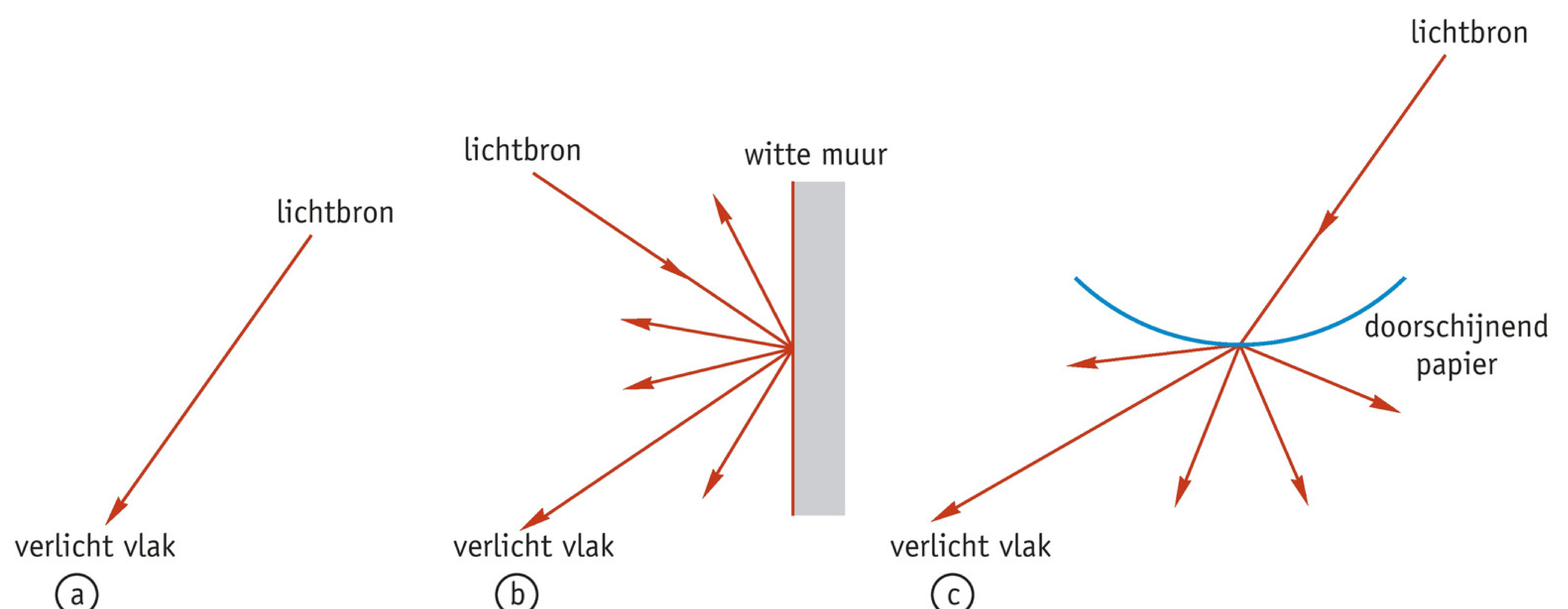


▶ **figuur 17**
een lamp die diffuus licht geeft

Reflectie en verstrooiing

Indirect en diffuus licht is afkomstig van een groot oppervlak en dat maakt het contrast tussen licht en schaduw minder groot. Indirect licht en diffuus licht hebben dus hetzelfde effect, maar er is wel een verschil in de manier waarop ze ontstaan.
Indirect licht ontstaat door **reflectie**: het licht weerkaatst tegen een ondoorschijnend vlak, zoals een wit plafond. Reflectie is een ander woord voor weerkaatsing of terugkaatsing (zie figuur 18b).
Diffuus licht ontstaat door **verstrooiing**: het licht weerkaatst niet, maar verandert van richting als het door een doorschijnend materiaal beweegt, zoals papier, matglas of textiel en gaat daarna alle kanten op (figuur 18c).

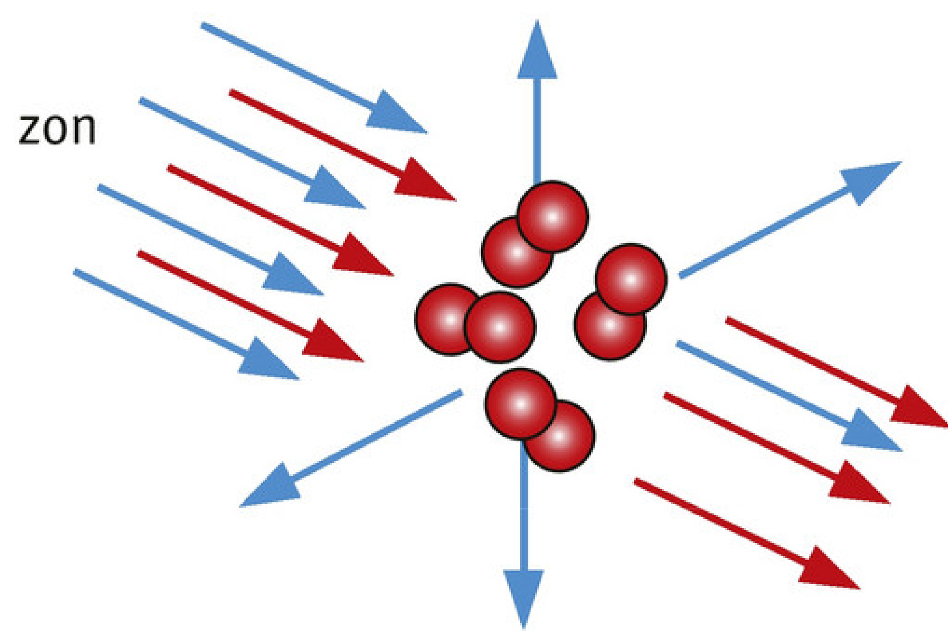
▼ **figuur 18**
direct licht, indirect licht en diffuus licht



Hemelsblauw en avondrood

Als je op een wolkeloze dag omhoog kijkt, zie je dat de hemel overal diepblauw is. Dat blauwe licht is een mengsel van verschillende spectraalkleuren. Er zit veel violet in (waarvoor je ogen niet zo gevoelig zijn), nogal wat blauw, een beetje groen en bijna geen geel en rood. De mengkleur van al die spectraalkleuren is hemelsblauw.

Die blauwe kleur van de hemel wordt veroorzaakt doordat moleculen het zonlicht verstrooien (van richting laten veranderen). In een dunne laag lucht merk je dat niet. Dan lijkt lucht perfect doorzichtig. Maar in de atmosfeer, die kilometers dik is, is die verstrooiing goed merkbaar. De spectraalkleuren violet en blauw worden het sterkst verstrooid, de spectraalkleuren rood en oranje het minst. Daardoor is het verstrooide licht hemelsblauw (figuur 19).



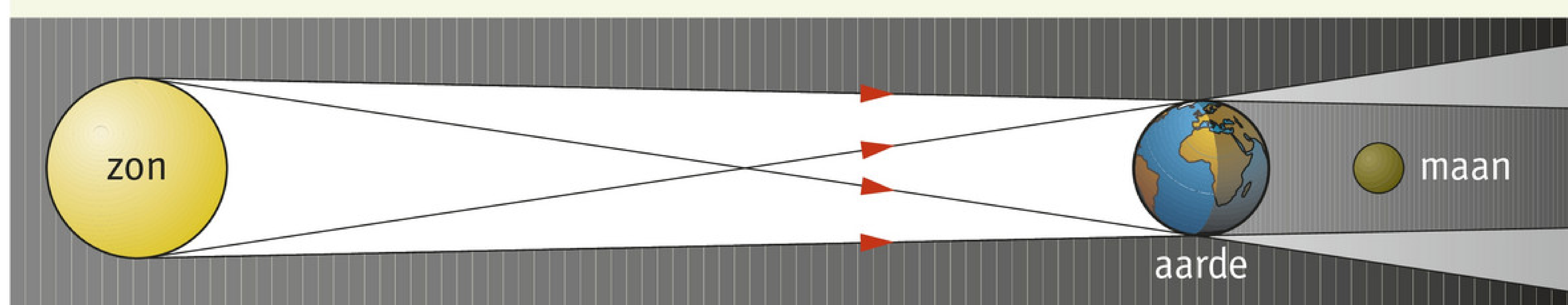
▲ **figuur 19**
Zonlicht wordt verstrooid door de moleculen in de atmosfeer.

Bij zonsondergang moet het zonlicht een lange weg door de atmosfeer afleggen, voordat het je ogen bereikt. Bijna al het violette en blauwe licht is dan al verstrooid. Doordat het rode licht veel minder wordt verstrooid (en grotendeels rechtdoor kan gaan), overheerst dat in het licht dat overblijft. Daardoor ziet de ondergaande zon er rood uit.

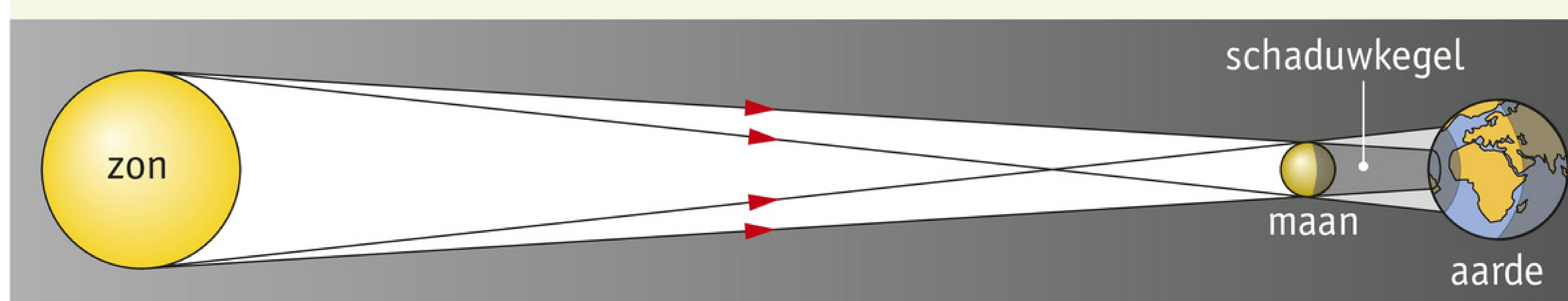
Plus Zons- en maansverduistering

De aarde draait in een ellipsvormige baan om de zon. De maan draait op zijn beurt om de aarde. Zowel de aarde als de maan hebben een **schaduwkegel** die altijd van de zon af gericht is. Als de maan in de schaduwkegel van de aarde terechtkomt, wordt hij niet meer beschenen door het licht van de zon. Dan kun je de maan dus ook niet zien. Je spreekt dan van een **maansverduistering** (figuur 20). Gemiddeld komen per jaar in Nederland een tot twee maansverduisteringen voor.

De aarde kan ook door de schaduwkegel van de maan heen bewegen. De maan staat dan, vanuit de aarde bekeken, vóór de zon. Het lijkt dan alsof de zon is verduisterd. Vandaar de naam **zonsverduistering**. Een volledige zonsverduistering is altijd maar in een klein gebied op aarde te zien. Dit gebied bevindt zich in de kernschaduw van de maan (figuur 21). De mensen in het gebied daaromheen bevinden zich in de halfschaduw van de maan: zij zien de zon gedeeltelijk verduisterd.



◀ **figuur 20**
een maansverduistering



◀ **figuur 21**
een zonsverduistering

opgaven

14 Maak de volgende opdrachten.
- **a** Teken een convergente en een divergente lichtbundel en schrijf de namen erbij.
- **b** Maak met een tekening duidelijk hoe diffuus licht ontstaat.
- **c** Leg het verschil uit tussen indirect en diffuus licht.

15 Een werkblad wordt verlicht door twee, vlak naast elkaar opgehangen lampen.
- **a** Hoe komt het dat elk voorwerp op het werkblad twee schaduwen heeft?
- **b** Hoe heet het gebied waar beide lampen een schaduw geven op het werkblad?
- **c** Hoe komt het dat je daarnaast lichtere 'halfschaduwen' kunt zien?
- **d** Waarom krijg je bijna geen schaduwen als je de lampen vervangt door een tl-buis?

16 Bij deze opgave heb je werkblad 8-1 nodig.
Op het werkblad zie je een lamp die boven een kruk hangt.
Teken de twee randstralen. Arceer het schaduwgebied dat daartussen ligt.

17 Bij deze opgave heb je werkblad 8-2 nodig.
Op het werkblad zie je Peter onder een straatlantaarn staan.
- **a** Teken de gloeilamp van de straatlantaarn op de juiste plaats.
- **b** Peter is 1,80 m lang. Hoe hoog hangt de gloeilamp van de straatlantaarn boven de grond? Schrijf stap voor stap op hoe je aan je antwoord bent gekomen.

18 Bij deze opgave heb je werkblad 8-3 nodig.
Op het werkblad zie je een tl-buis die boven een kruk hangt.
- **a** Teken de twee randstralen vanuit het linker uiteinde van de tl-buis.
- **b** Teken de twee randstralen vanuit het rechter uiteinde van de tl-buis.
- **c** Geef met blauw aan waar je de kernschaduw van de kruk kunt zien.
- **d** Geef met rood aan waar je de halfschaduwen van de kruk kunt zien.
- **e** Een muis loopt over de kamervloer van de linker muur naar de rechter muur, onder de kruk door. Beschrijf hoe de muis het licht op de vloer ziet veranderen.

19 Leg uit hoe het komt:
- **a** dat je de lichtbundels van een lasershow, als het een beetje mistig is, veel beter kunt zien dan bij droog weer.
- **b** dat schaduwen bij zonnig weer hard en scherp zijn, terwijl je bij een bewolkte lucht bijna geen schaduwen ziet.
- **c** dat wintersporters eerder last hebben van verblindend zonlicht dan toeristen die 's zomers in de bergen rondtrekken.

***20** Een witte paraplu hoort bij de basisuitrusting van een professionele fotograaf. Lees de tekst in figuur 22.
- **a** Op welke twee manieren kan een fotograaf zo'n paraplu gebruiken volgens de tekst?
- **b** Welke van die twee manieren zie je op de foto in figuur 22? Waaraan zie je dat?
- **c** Teken hoe de paraplu, de flitslamp en het model bij de andere manier staan opgesteld.
- **d** Het licht wordt zachter als de fotograaf de paraplu dichter bij het model zet.
  Leg uit waarom dat zo is.
- **e** Op een website wordt beweerd: "Een grote paraplu levert zachter licht dan een kleine."
  Leg uit of deze bewering juist is of niet.



De paraplu kan op twee manieren worden gebruikt, namelijk als reflector of als diffuser.
In het geval de paraplu wordt gebruikt als reflector, wordt de flits in de paraplu gestuurd en kaatst via de open kant van de paraplu op het model.
Bij gebruik als diffuser is de paraplu met de dichte kant naar het model gericht. Ook hier wordt in de paraplu geflitst, echter nu gaat het licht door de paraplu heen en verlicht het onderwerp.
Hoe groter de paraplu, des te groter is de lichtbron die het model belicht.
bron: www.123cursus-fotografie.nl

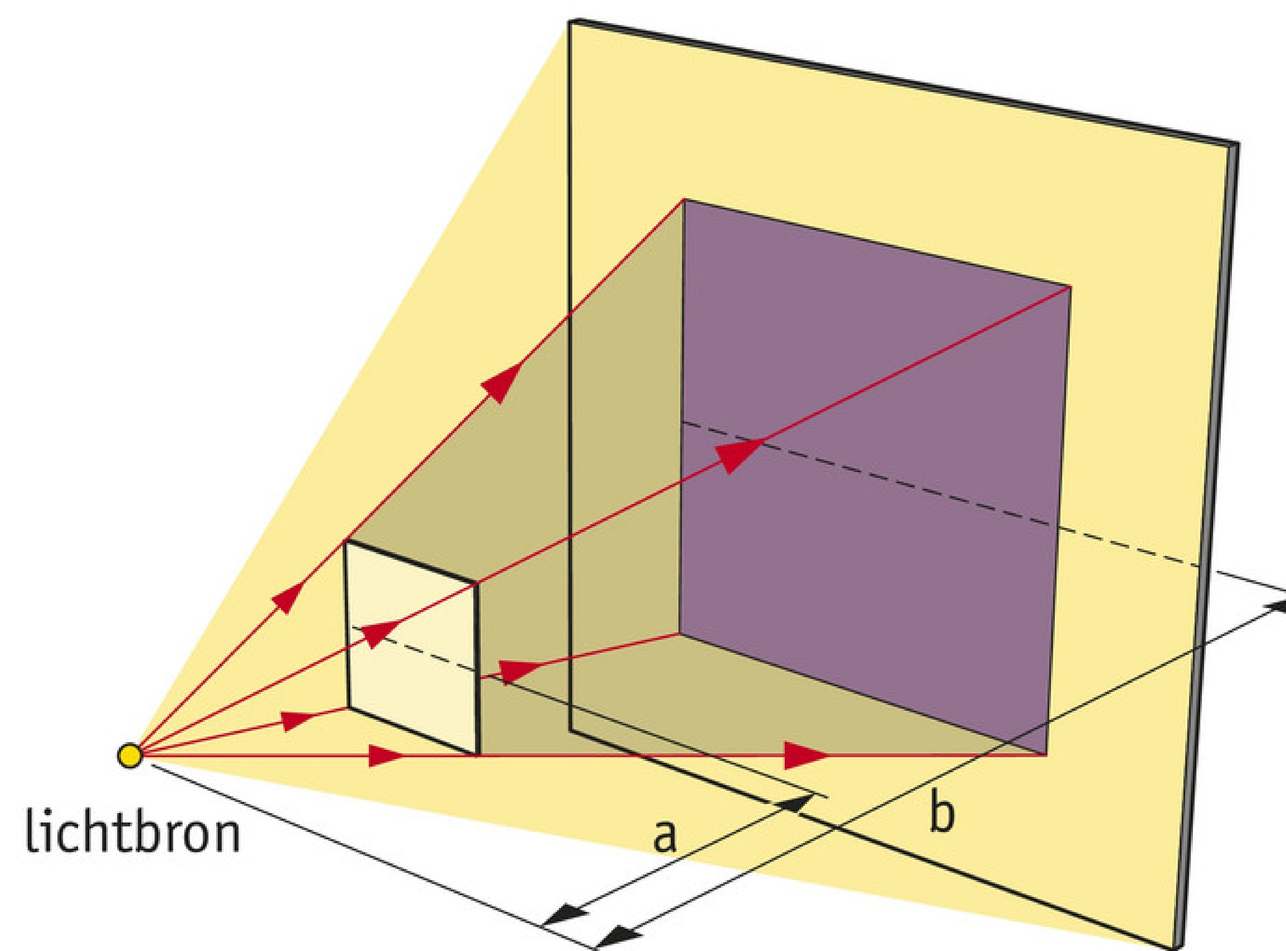
▲ **figuur 22**
een gedeelte van een cursus fotografie

21 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Welke spectraalkleuren vormen samen het hemelsblauw van een wolkeloze hemel?
- **b** Hoe komt het dat blauw overheerst in het licht dat vanaf een wolkeloze lucht in je ogen valt?
- **c** Hoe komt het dat rood overheerst in het licht dat vanaf de ondergaande zon in je ogen valt?

***22** Luuk wil op een zonnige dag de hoogte van een kerktoren bepalen. Hij steekt een stok rechtop in de grond. De stok heeft een hoogte van 1,20 m en werpt een schaduw van 92 cm. Luuk meet de lengte van de schaduw van de kerktoren, vanaf de kant van de toren waar de schaduw begint. Hij komt uit op 42 m.
- **a** Maak een tekening van de situatie en zet daar de genoemde getallen in.
- **b** Hoe hoog is de toren ongeveer?
- **c** Luuk meet de schaduw van de toren vanaf de torenmuur. Vindt hij op deze manier een te hoge of een te lage waarde voor de hoogte van de toren? Licht je antwoord toe.
- **d** Wat moet Luuk doen om een betere waarde voor de hoogte van de toren te vinden?

***23** In figuur 23 zie je hoe een puntvormige lichtbron een schaduw maakt doordat een voorwerp (een vierkant plaatje) tussen de lichtbron en het scherm staat. In dit voorbeeld is het schaduwbeeld 3× zo hoog en 3× zo breed als het voorwerp. Je zegt dan: de vergrotingsfactor *N* = 3.

- **a** Kan *N* ook 1 zijn? Zo ja, hoe is dan de situatie?
- **b** Kan *N* kleiner dan 1 zijn?
- **c** In figuur 23 zie je de afstand van de lichtbron naar het voorwerp aangegeven (a), net als de afstand van de lichtbron naar de schaduw (b). Welke relatie bestaat er tussen *N* en de afstanden a en b?
- **d** Het voorwerp staat 40 cm voor het scherm. Hoe groot is de afstand tussen de lichtbron en het voorwerp?
- **e** Bedenk een manier om de vergrotingsfactor in figuur 23 twee keer zo groot (dus *N* = 6) te maken. Je mag met de lichtbron en het voorwerp schuiven.



▶ **figuur 23**
vergroting bij het maken van een schaduw

Plus Zons- en maansverduistering

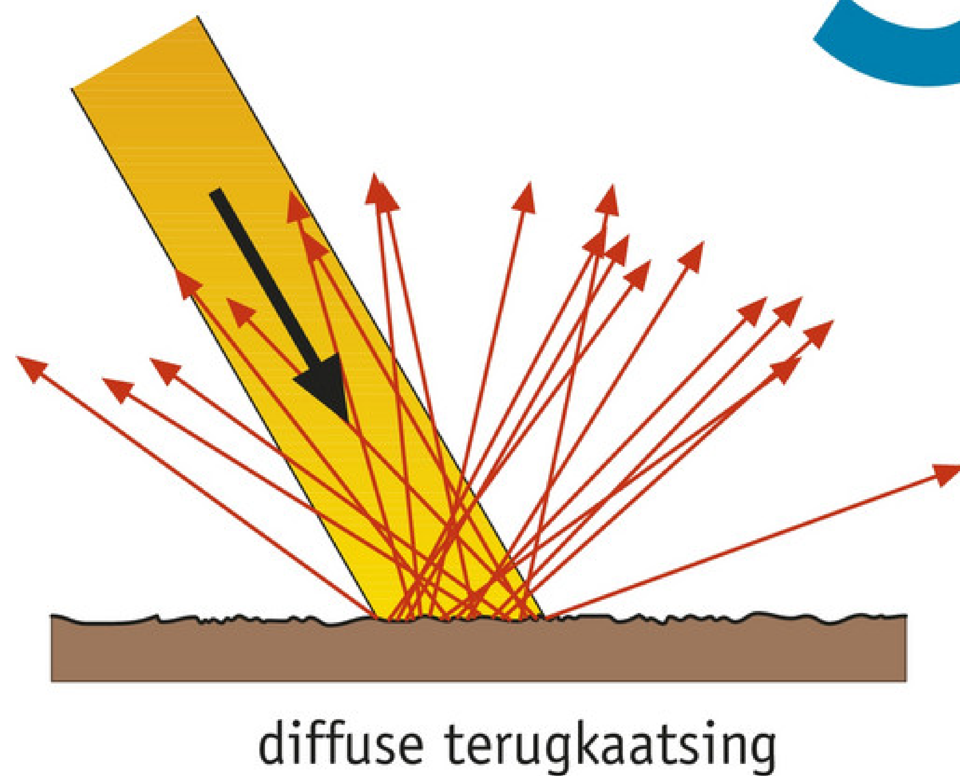
24 Bij deze opgave heb je werkblad 8-4 nodig.
Op het werkblad zie je een tekening waarin een maansverduistering wordt uitgelegd (niet op schaal).

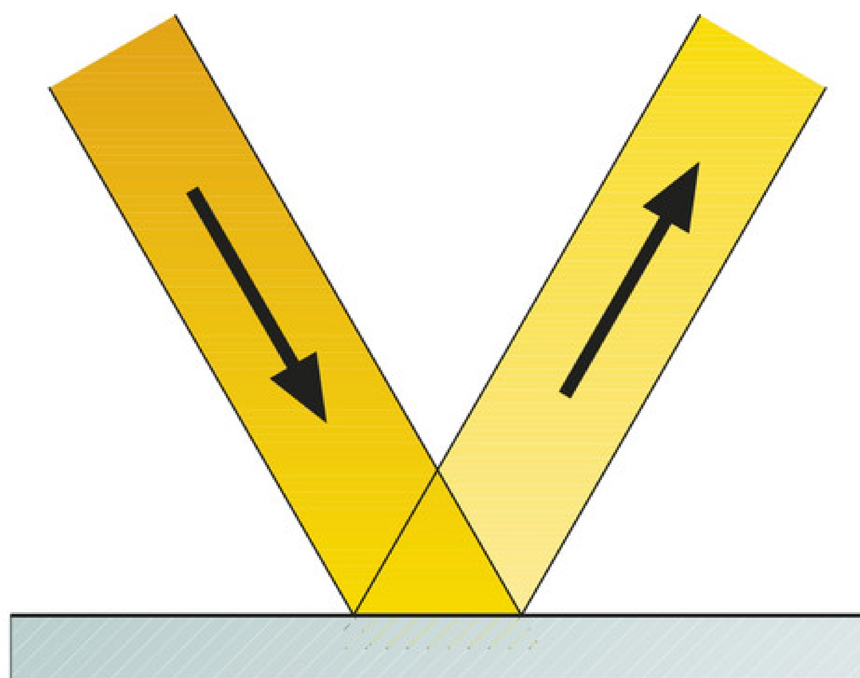
- **a** Vul op de juiste plaats in: zon, maan en aarde.
- **b** Teken de schaduwkegel van de aarde.
- **c** Is het mogelijk dat je op de ene plaats op aarde een volledige maansverduistering ziet en op een andere plaats een gedeeltelijke? Licht je antwoord toe.
- **d** Stel je voor dat er op dit moment mensen op de maan zijn. Wat zullen zij tijdens een maansverduistering waarnemen?

25 Heel af en toe vindt er in Nederland een volledige zonsverduistering plaats.

- **a** Maak een tekening waarin duidelijk wordt wat er aan de hand is bij een zonsverduistering.
- **b** Zoek op wanneer er in ons land voor het laatst een volledige zonsverduistering was en wanneer de volgende zal zijn.
- **c** Zoek op hoe de zon eruitziet op het moment dat hij volledig verduisterd is.

3 Spiegelbeelden





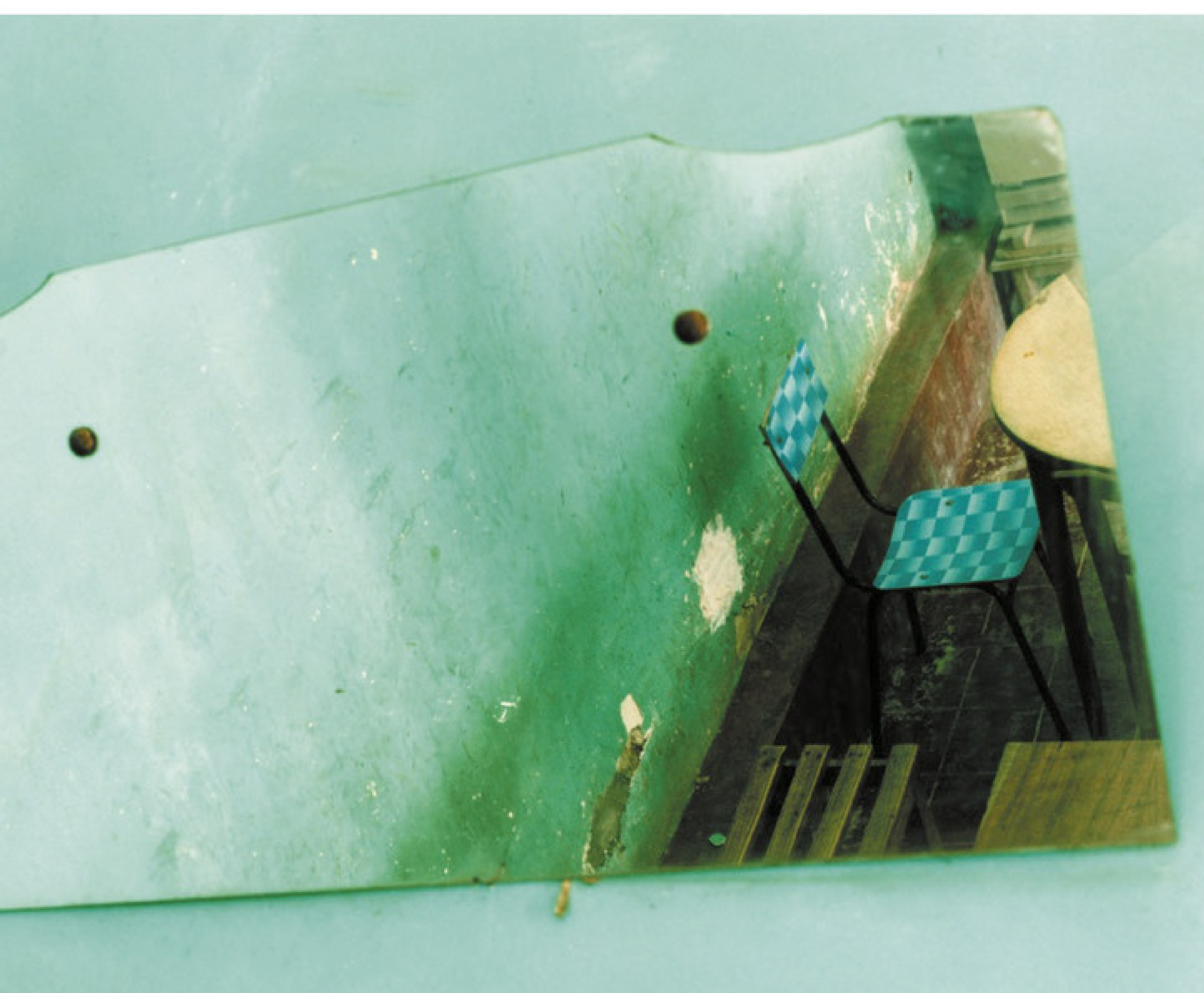
▲ figuur 24
diffuse terugkaatsing en spiegelende terugkaatsing

Als zonlicht op wit papier of op een spiegel valt, wordt het voor meer dan 90% teruggekaatst. Bij het papier is die terugkaatsing diffuus. Het weerkaatste zonlicht beweegt alle kanten op. Bij een spiegel wordt het licht juist heel gericht teruggekaatst. Daardoor kun je je gezicht wel zien in een spiegel, maar niet in een vel papier.

Spiegels

Een **spiegel** (van het Latijnse *specere* = kijken) bestaat uit een glasplaat, waarop een dun laagje aluminium of zilver is aangebracht. Licht passeert het glas en wordt vervolgens teruggekaatst door het laagje metaal daaronder. Doordat het metaaloppervlak heel glad en vlak is, is de terugkaatsing **spiegelend**: het licht wordt gericht teruggekaatst, en niet alle kanten op. Als het licht wel alle kanten op wordt teruggekaatst dan is dat diffuse terugkaatsing (figuur 24).

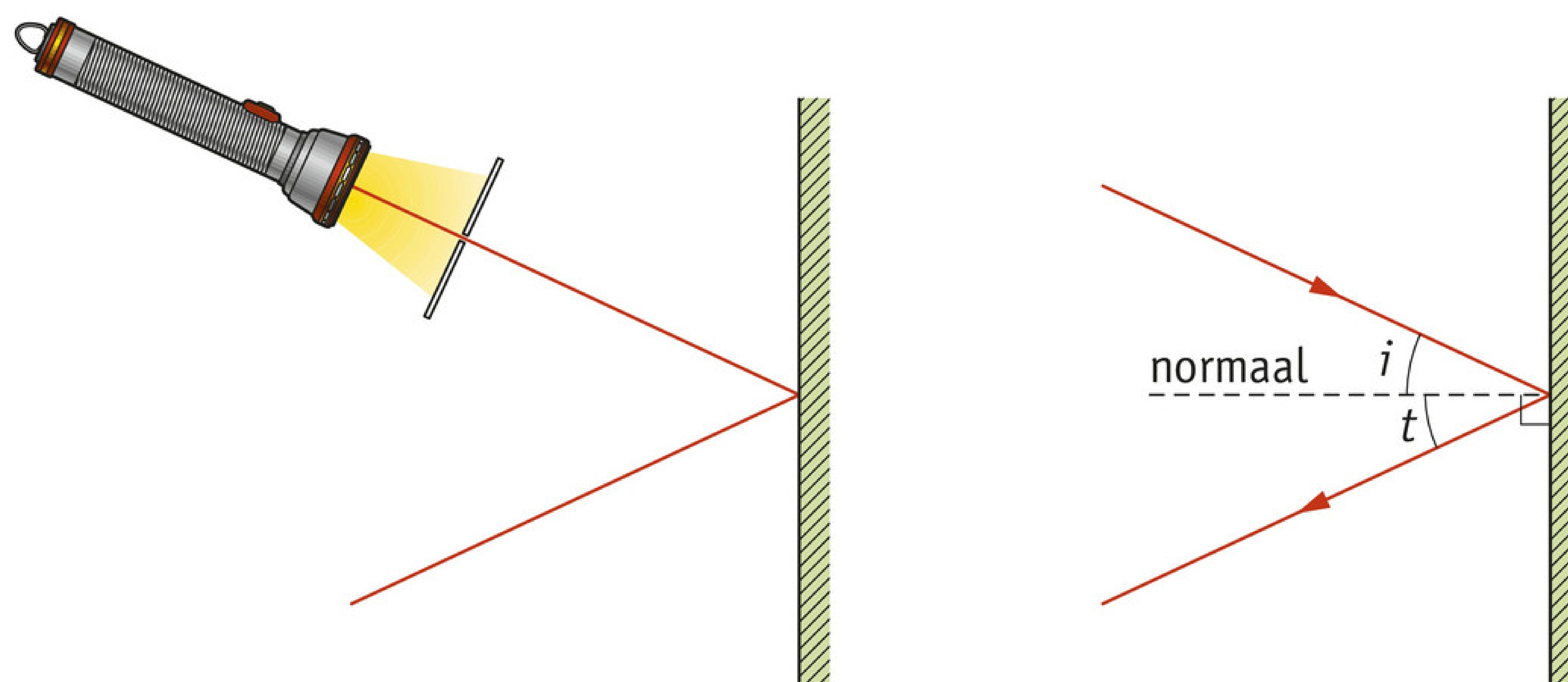
Als je in een vlakke spiegel kijkt, zie je je **spiegelbeeld** achter de spiegel (figuur 25). Het spiegelbeeld heeft zelfs diepte: het lijkt echt achter de spiegel te liggen. Er is een opvallend verschil tussen de ‘spiegelwereld’ en de wereld voor de spiegel: voor en achter zijn omgedraaid. Dat merk je als je een tekst via een spiegel bekijkt. Je ziet de tekst dan in **spiegelschrift** (net als wanneer je een vel papier tegen het licht houdt en dan de tekst op de achterkant probeert te lezen). Omgekeerd werkt het ook: als je een tekst in spiegelschrift via een spiegel bekijkt, zien de letters er weer normaal uit.



▲ figuur 25
Achter een spiegel lijkt een andere, gespiegelde wereld te liggen.

De spiegelwet Proef 4

In de tekening van figuur 26 zie je hoe een vlakke spiegel een evenwijdige smalle lichtbundel terugkaatst. Omdat je zo’n lichtbundel kunt tekenen als één lichtstraal, zeg je in plaats van ‘evenwijdige smalle lichtbundel’ meestal kortweg ‘lichtstraal’.



▶ figuur 26
Zo kaatst een spiegel een lichtstraal terug.

Op de plaats waar de lichtstraal de spiegel raakt, is een lijn getekend die loodrecht op de spiegel staat: de **normaal** (of loodlijn). De hoek tussen de invallende lichtstraal en de normaal heet de **hoek van inval** (∠ *i*). De hoek tussen de teruggekaatste lichtstraal en de normaal heet de **hoek van terugkaatsing** (∠ *t*).

Bij terugkaatsing door een spiegel geldt altijd:

hoek van inval = hoek van terugkaatsing

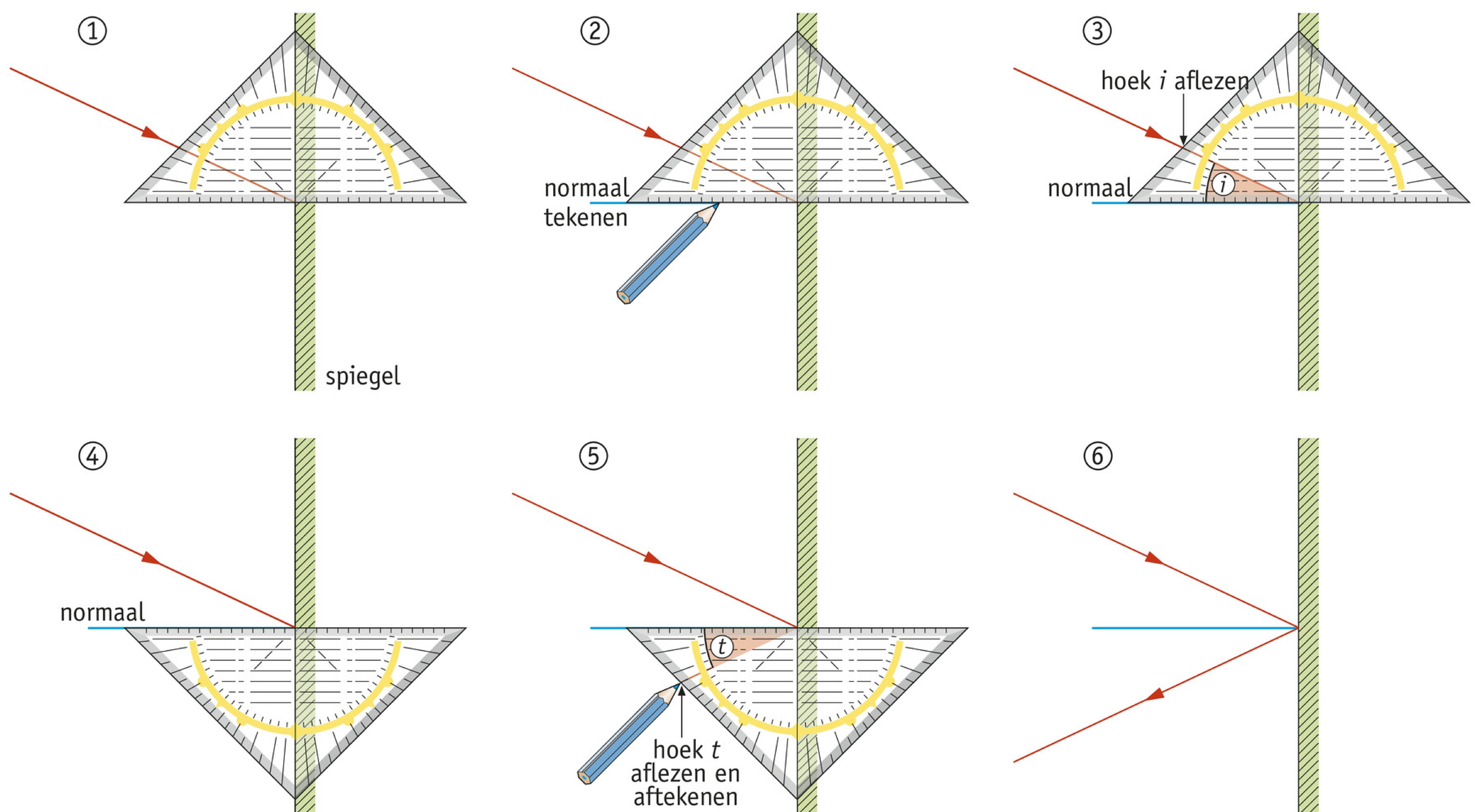
of in symbolen:

$\angle i = \angle t$

Deze regel wordt de **spiegelwet** genoemd.

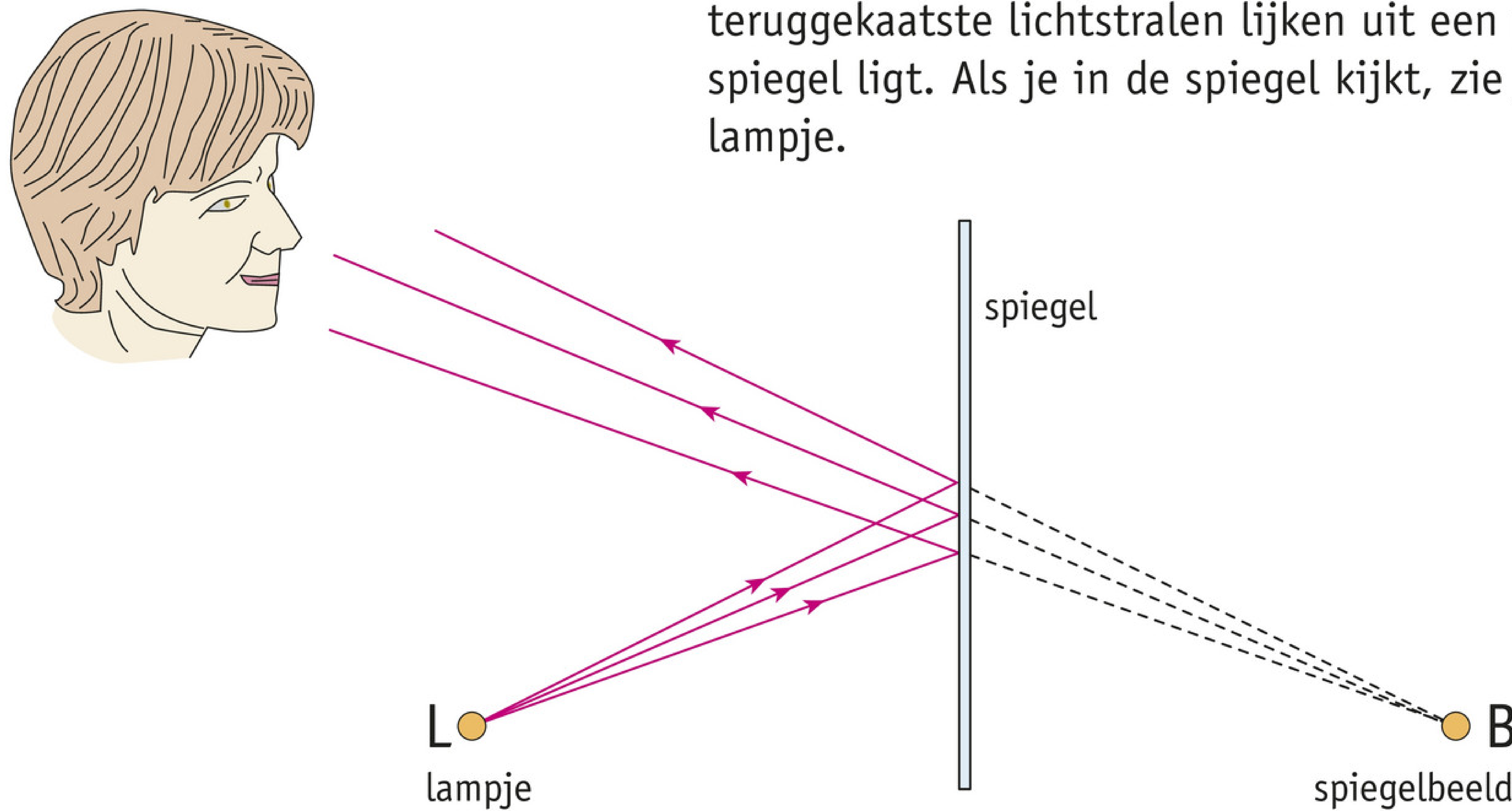
Aan de hand van de spiegelwet kun je tekenen hoe een lichtstraal door de spiegel teruggekaatst wordt (figuur 27):
1 Leg je geodriehoek zoals in de tekening.
2 Teken de normaal.
3 Lees de hoek van inval af.
4 Leg je geodriehoek nu langs de andere kant van de normaal.
5 Pas de spiegelwet toe en zet de hoek van terugkaatsing uit.
6 Teken de teruggekaatste lichtstraal.

▼ **figuur 27**
Zo construeer je een teruggekaatste lichtstraal.



Het spiegelbeeld tekenen Proef 5

In figuur 28 is een lampje getekend dat voor een spiegel staat. De teruggekaatste lichtstralen lijken uit een punt te komen dat achter de spiegel ligt. Als je in de spiegel kijkt, zie je daar het spiegelbeeld van het lampje.

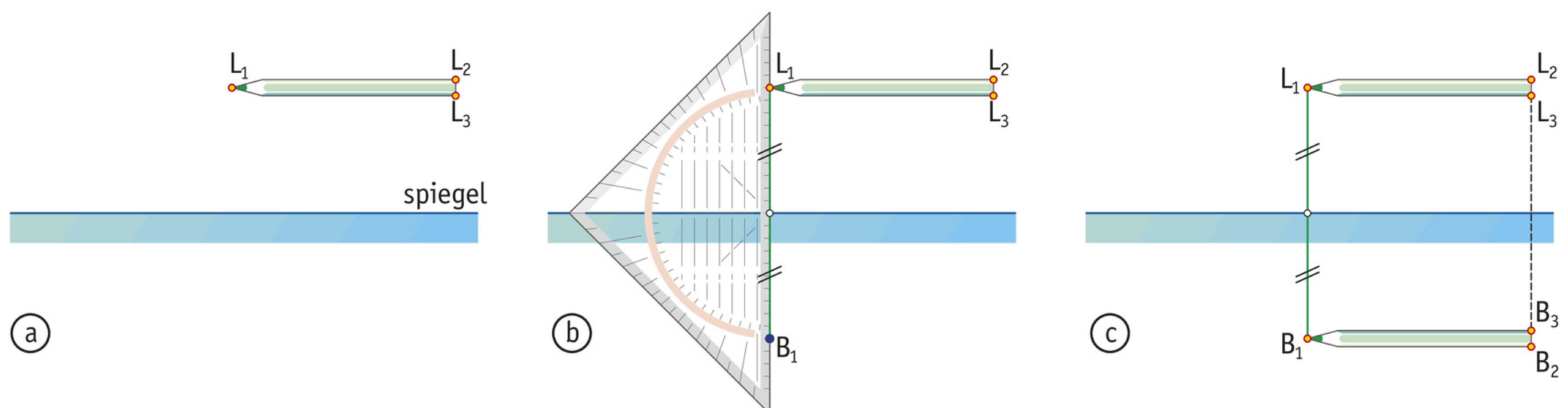


▲ **figuur 28**
kijken naar een spiegelbeeld

Het spiegelbeeld bevindt zich even ver achter de spiegel als het voorwerp ervoor. Je kunt als volgt de plaats van het spiegelbeeld vinden (figuur 29):

1 Kies een willekeurig punt L van het voorwerp.
2 Leg je geodriehoek neer zoals in de tekening.
3 Teken het beeldpunt B zo dat B even ver achter de spiegel ligt als L ervoor.

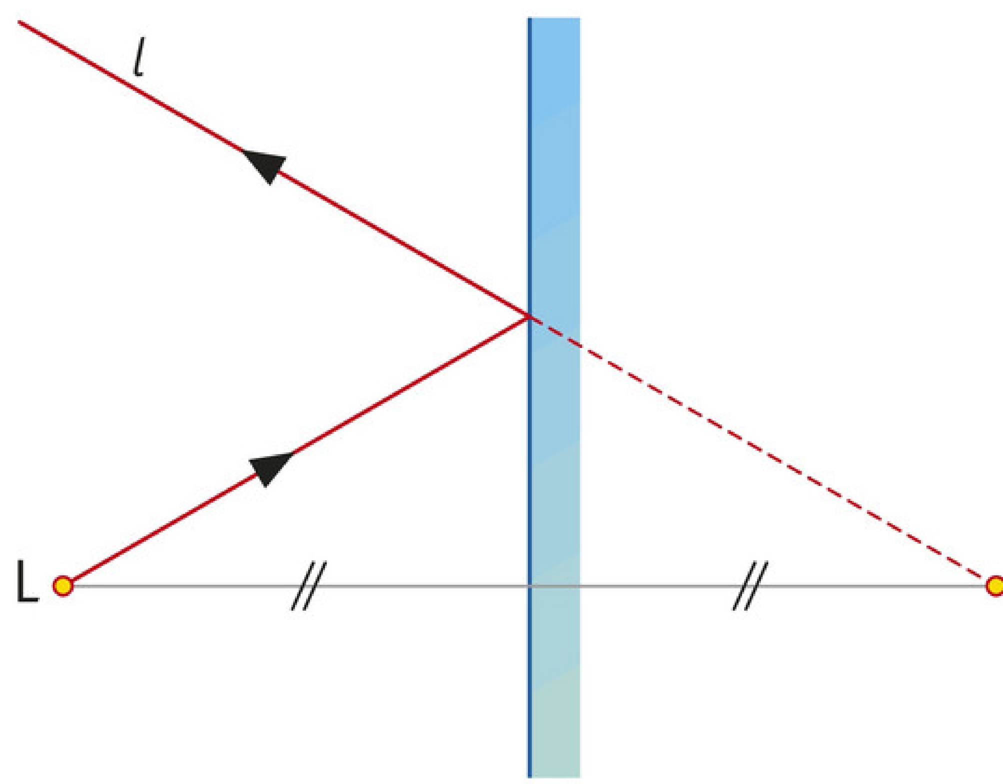
Op deze manier kun je het spiegelbeeld van elk punt van het voorwerp bepalen. Nummer de punten van het voorwerp: L_1, L_2, L_3, enzovoort. Nummer de punten van het beeld: B_1, B_2, B_3, enzovoort. Als een punt niet recht voor de spiegel ligt, mag je de spiegel in je tekening verlengen om het beeldpunt te kunnen vinden.



▲ **figuur 29**
Zo construeer je het spiegelbeeld van een voorwerp.

De teruggekaatste lichtstraal tekenen

Als je wilt tekenen hoe een spiegel het licht van een lichtbron L terugkaatst, hoef je niet de spiegelwet te gebruiken. Meestal is het eenvoudiger om eerst het beeldpunt B van de lichtbron te tekenen. Daarna kun je gebruik maken van het feit dat de teruggekaatste lichtstralen uit het punt B lijken te komen.



▲ **figuur 30**
Zo construeer je de teruggekaatste lichtstraal met behulp van het beeldpunt.

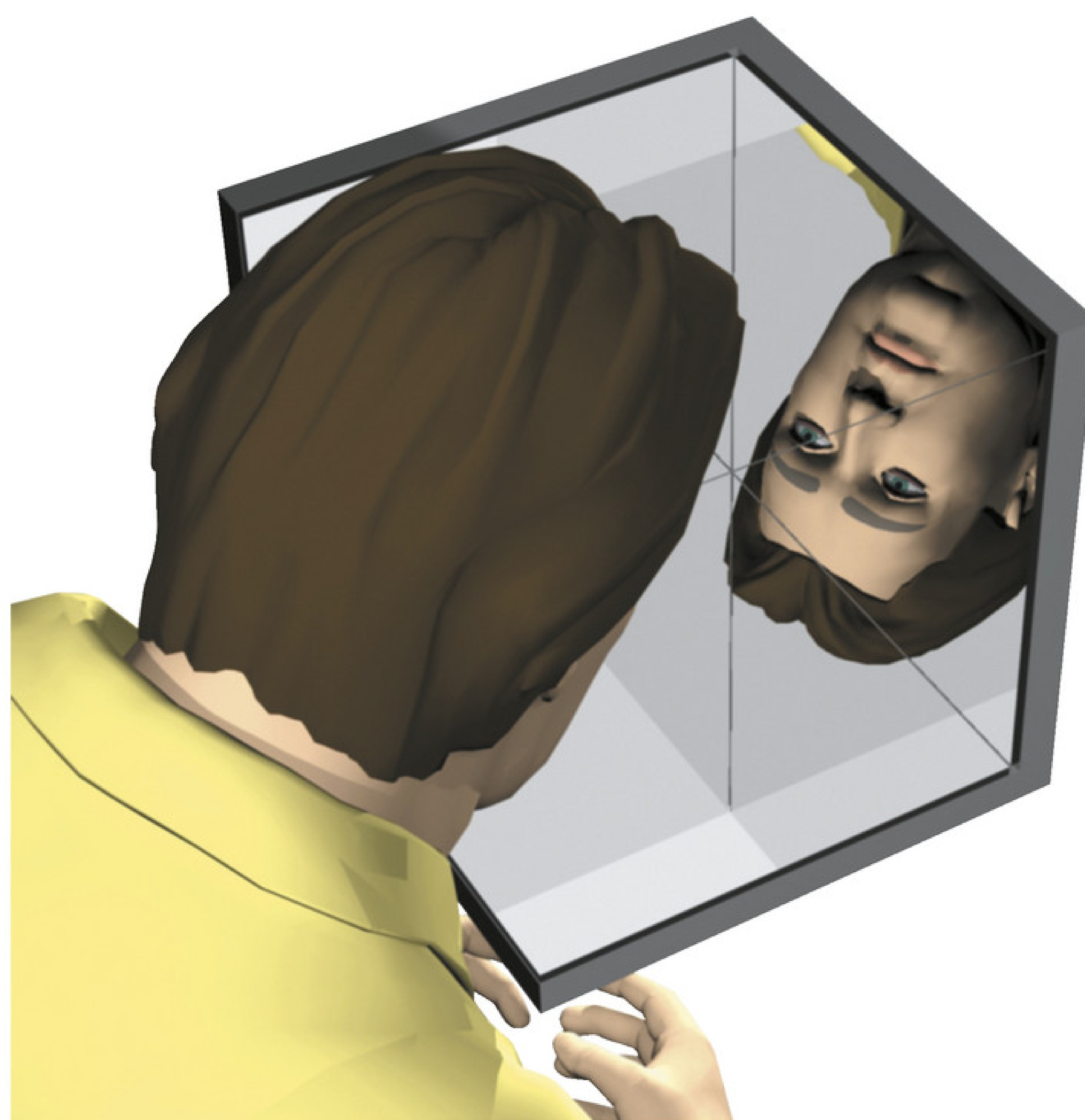
In figuur 30 zie je een tekening waarin een willekeurige lichtstraal door een spiegel wordt teruggekaatst. Om zo'n tekening te maken, teken je eerst het beeldpunt van L. Dit is het punt B. Daarna trek je vanuit B de lijn l: eerst onderbroken achter de spiegel, daarna als doorgetrokken lijn voor de spiegel. Het doorgetrokken gedeelte voor de spiegel is de teruggekaatste lichtstraal.

Reflectoren

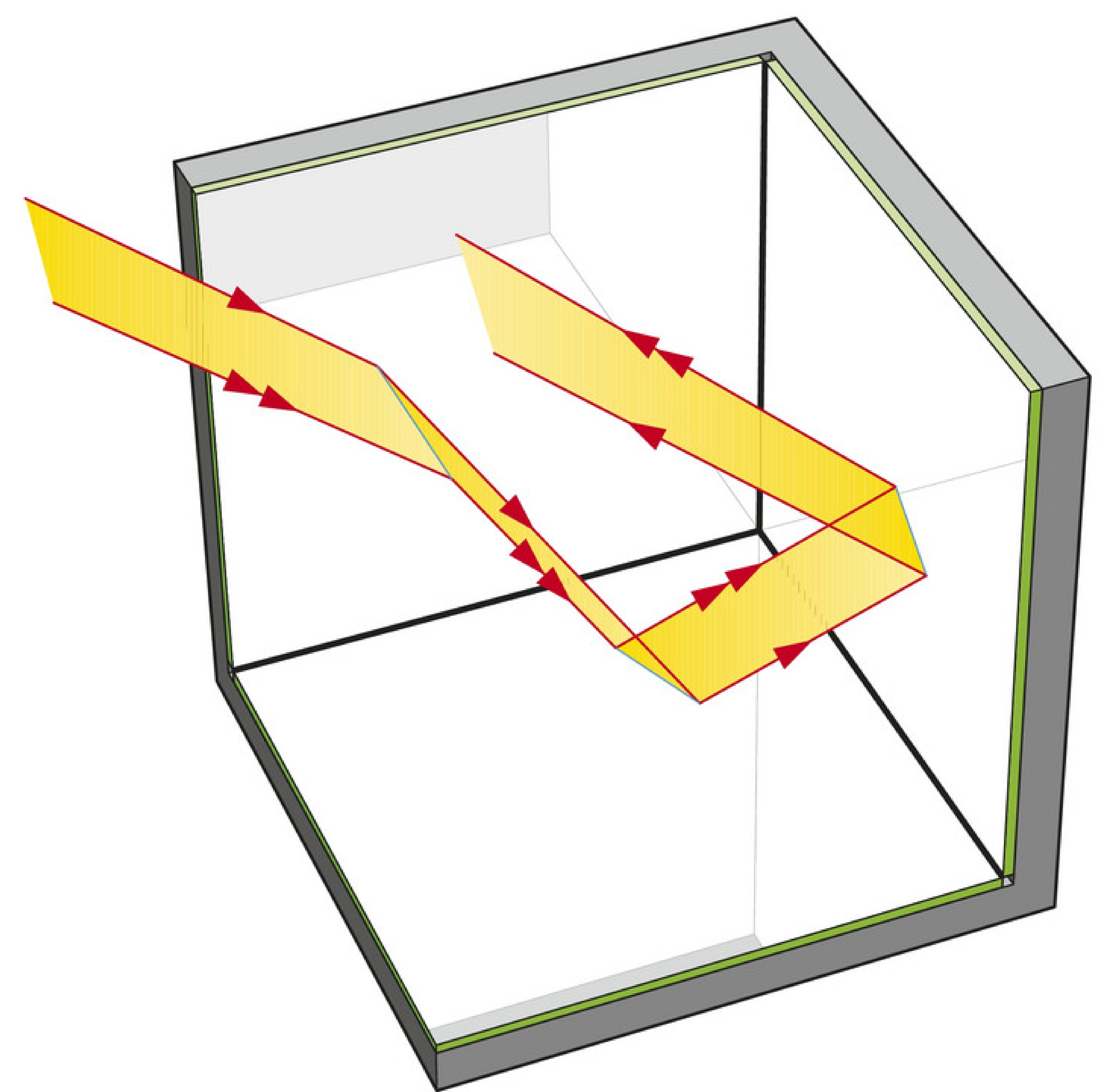
De man in figuur 31 kijkt in een zogenoemde **tripelspiegel**. Zo'n spiegel bestaat uit drie spiegels, die loodrecht op elkaar zijn geplaatst. Als je in een tripelspiegel kijkt, zie je je gezicht 'op de kop'. Als je met je hoofd van links naar rechts gaat, beweegt het spiegelbeeld de andere kant op.

Met een dunne lichtbundel kun je onderzoeken hoe een tripelspiegel het licht reflecteert. Je ziet dan dat een lichtbundel die in de tripelspiegel valt, drie keer wordt weerkaatst – één keer door elke spiegel. Het eindresultaat is dat de richting van de lichtbundel precies omdraait: het licht gaat weer terug naar waar het vandaan kwam (figuur 32).

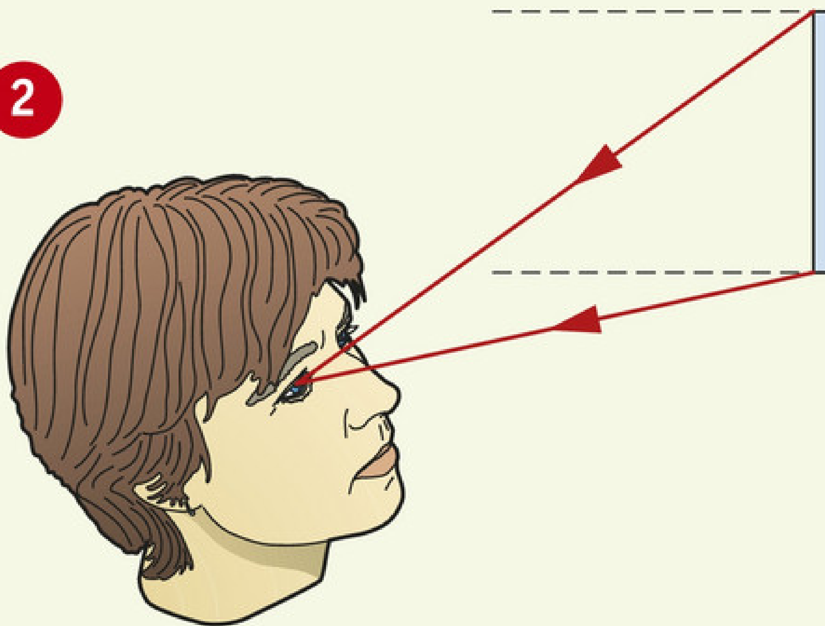
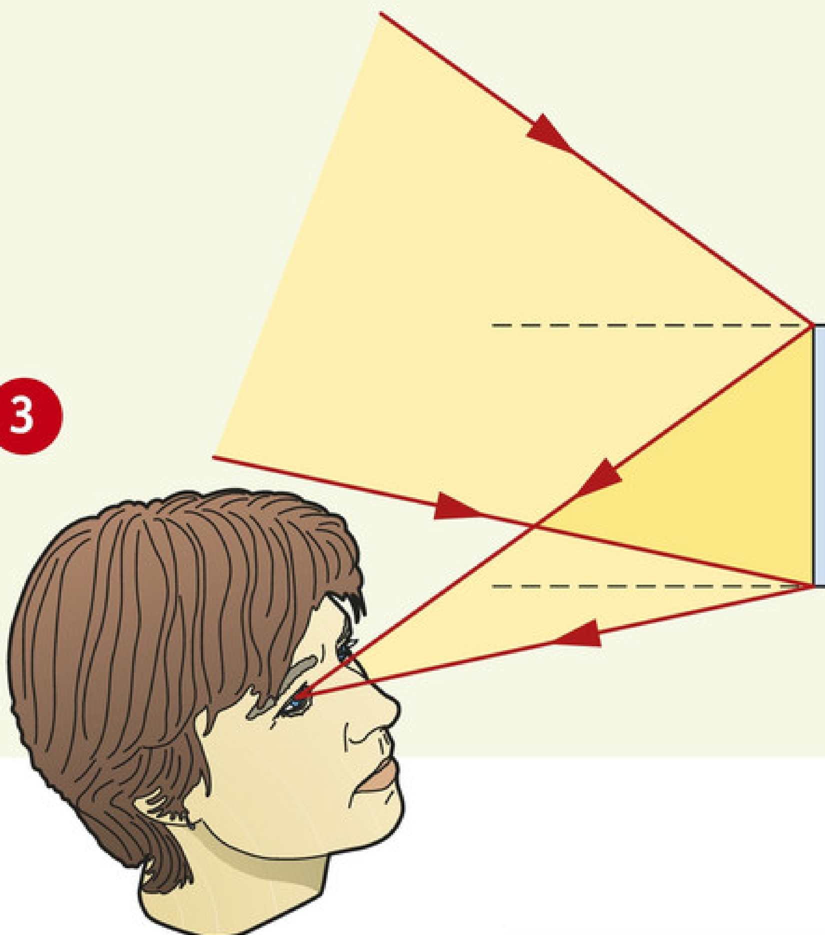
Tripelspiegels worden toegepast in **reflectoren**. Een fietsreflector bestaat bijvoorbeeld uit een groot aantal tripelspiegeltjes. Als een auto met zijn koplampen in de reflector schijnt, wordt het licht weerkaatst in de richting van de auto. De bestuurder wordt er daardoor voor gewaarschuwd dat er een fietser voor hem op de weg rijdt.



▲ **figuur 31**
beeldvorming in een tripelspiegel



▲ **figuur 32**
reflectie in een tripelspiegel

Plus Het gezichtsveld bij spiegels

Elke auto heeft een binnenspiegel en twee buitenspiegels. Via deze spiegels kan de bestuurder de weg achter en naast zich in de gaten houden. Het **gezichtsveld** van een spiegel is het gebied dat je via de spiegel kunt zien. Dit gebied wordt begrensd door de lichtstralen die nog net via de spiegel bij de ogen van de bestuurder terechtkomen.

Je kunt met behulp van de spiegelwet bepalen hoe deze lichtstralen lopen (figuur 33):
1 Teken een normaal op elk uiteinde van de spiegel.
2 Teken de twee teruggekaatste lichtstralen naar het oog.
3 Teken nu de twee invallende lichtstralen met behulp van de spiegelwet.
Tussen deze twee lichtstralen ligt het gezichtsveld.

Als je via een spiegel een zo groot mogelijk gebied wilt overzien, moet je een **bolle spiegel** gebruiken. Bolle spiegels vind je bijvoorbeeld in een auto, op vrachtwagens (als dodehoekspiegel), in supermarkten en op onoverzichtelijke kruisingen.

◀ **figuur 33**
het gezichtsveld van een vlakke spiegel

opgaven

26 Maak een tekening van een lichtstraal die door een vlakke spiegel wordt teruggekaatst.
Geef in je tekening aan:
a in welke richting het licht beweegt;
b welke lijn de normaal is;
c welke hoek de hoek van inval is;
d welke hoek de hoek van terugkaatsing is.

27 Beantwoord de volgende vragen.
a Wat is het verschil tussen spiegelende terugkaatsing en diffuse terugkaatsing?
b Op welke moeilijkheid stuit je als je tekst via een spiegel probeert te lezen?
c Een punt L staat 4,5 cm voor een spiegel. Waar teken je het beeldpunt B?

28 Bedenk een woord in hoofdletters dat er in spiegelschrift precies hetzelfde uitziet.

29 Bij deze opgave heb je werkblad 8-5 nodig.
Op een spiegel valt een lichtbundel uit een zaklantaarn.
Teken hoe de lichtbundel wordt teruggekaatst.

***30** In figuur 29 wordt uitgelegd hoe je met behulp van een geodriehoek de teruggekaatste lichtstraal kunt tekenen. Je moet dan wel de geodriehoek ‘omklappen’ tijdens het tekenen.
Bedenk een methode waarbij je de geodriehoek niet hoeft te verplaatsen.

31 Bij deze opgave heb je werkblad 8-6 nodig.
Een zonne-energiecentrale bestaat uit een groot aantal vlakke spiegels die het zonlicht naar een oven moeten weerkaatsen. De spiegels staan op palen. Je ziet de oven, drie palen (de spiegels zijn nog niet getekend) en de richting van het zonlicht.
Teken op het werkblad in welke stand de spiegels moeten worden gezet om het licht van de zon naar het midden van de oven te spiegelen.



▲ **figuur 34**
een gespiegelde zonsondergang

32 Bekijk de foto van de zonsondergang in figuur 34.
Leg uit:
a waardoor de smalle baan licht ontstaat die je over het water ziet lopen.
b hoe het komt dat die baan licht altijd recht op de toeschouwer af komt.
c wat de oorzaak is van de donkere strepen die de baan licht onderbreken.

33 Vervolg van vraag 32.
Heel soms kun je in zee het spiegelbeeld van de ondergaande zon zien, in plaats van een baan licht zoals in figuur 34.
a Wat is er nodig om een perfect gespiegelde, ronde zonneschijf te zien?
b Hoe komt het dat je dit eerder in een meertje zult zien dan in de zee?

34 Bij deze opgave heb je werkblad 8-7 nodig.
Hans bekijkt zichzelf in een spiegel.
a Teken de beeldpunten:
- van het topje van zijn hoofd (L_1);
- van zijn rechteroog (L_2);
- van het puntje van zijn neus (L_3);
- van zijn kin (L_4).

b Teken nu het spiegelbeeld van zijn gezicht.

35 Bij deze opgave heb je werkblad 8-8 nodig.
Mirjam en Els staan voor een grote spiegelende etalageruit. Dit is op het werkblad in bovenaanzicht getekend.
Maak met een nauwkeurige tekening duidelijk of ze elkaar via de ruit kunnen zien.



▲ **figuur 35**
Reflecterende strepen geven extra veiligheid.

36 Bekijk de fietser in figuur 35.

- **a** Is de fietser (inclusief zijn fiets) een directe lichtbron?
- **b** Wanneer wordt de fietser een indirecte lichtbron?
- **c** Automobilisten kunnen de fietser beter zien als hij lichte kleding draagt.
  Leg uit hoe dat komt.
- **d** Wat gebeurt er met licht dat op donkere kleding valt? Waarom is dat minder veilig voor de fietser?
- **e** De fietser in figuur 35 draagt een jas met reflectiestrepen.
  Hoe weerkaatsen die strepen het licht van een auto: diffuus of spiegelend? Waaraan zie je dat?
- **f** Waardoor geven zulke reflectiestrepen extra veiligheid?

37 Bij deze opgave heb je werkblad 8-9 nodig.
Op het werkblad is het oppervlak van een reflector in doorsnede getekend. Op de reflector valt een evenwijdige lichtbundel.
Teken hoe het licht wordt teruggekaatst.

Plus Het gezichtsveld bij spiegels

38 Bij deze opgave heb je werkblad 8-10 nodig.
Een automobilist (getekend als punt) kijkt eerst in de binnenspiegel en daarna in de zijspiegels van zijn auto.

- **a** Kleur het gebied dat hij via de binnenspiegel kan overzien blauw.
- **b** Kleur het gebied dat hij via de linker zijspiegel kan overzien groen.
- **c** Kleur de zogenaamde dode hoek rood.
- **d** Hoe kan hij ervoor zorgen dat hij ook medeweggebruikers in de dode hoek kan zien?

39 Bij deze opgave heb je werkblad 8-11 nodig.
De drie spiegels hebben elk een ander gezichtsveld.

- **a** Construeer het gezichtsveld van de drie spiegels.
- **b** Met welke spiegel kun je het grootste gebied overzien?

***40** Bij deze opgave heb je werkblad 8-12 nodig.
Holle spiegels kom je tegen als reflectoren in de koplampen van een fiets of auto. Ze hebben dan een parabolische vorm, net als schotelantennes.
Construeer op het werkblad hoe het licht dat uit het ronde lampje komt de koplamp verlaat.

4 Infrarood en ultraviolet

Astronomen kijken al eeuwen naar de hemel. In het verleden konden ze alleen objecten zien die zichtbaar licht uitzonden en dan hadden ze ook nog last van de atmosfeer. Tegenwoordig kunnen astronomen hun telescopen boven de dampkring in satellieten plaatsen. Bovendien zijn er nu ook telescopen die andere soorten straling waarnemen, bijvoorbeeld infrarode en ultraviolette straling. Vooral de foto's van de *Hubble Space Telescope* hebben ons beeld van het heelal sterk veranderd (figuur 36).



▲ **figuur 36**
een foto gemaakt door de Hubble ruimtetelescoop

Infrarode straling

Infrarode straling kun je goed voelen als je je hand bij een vuurtje houdt. Alle voorwerpen, maar ook mensen en dieren zenden **infrarode straling** (ir-straling) uit. Hoe hoger de temperatuur van een voorwerp, des te meer straling het uitzendt. Net als zichtbaar licht kan ir-straling als een golf worden voorgesteld.

Warmtelampen zenden, behalve een beetje rood licht, vooral veel infrarode straling uit. Ze worden gebruikt om pasgeboren jonge dieren warm te houden, maar je komt ze ook tegen in terrasverwarmingen en infraroodsauna's. Mensen en dieren ervaren de straling die deze lampen uitzenden, als 'aangenaam warm'.

Infrarode straling wordt toegepast in de afstandsbediening van apparaten. In zo'n afstandsbediening zit een led die infrarode straling produceert. Als je op een knopje drukt, zendt de led een reeks infrarode 'flitsen' uit. Dit signaal wordt opgevangen door een infraroodsensor in het apparaat en daarna verwerkt door de elektronica.

Infraroodsensoren vind je ook in alarminstallaties en in winkeldeuren die automatisch openen en sluiten. Het leger gebruikt nachtkijkers die ir-straling omzetten in een zichtbaar beeld. Telecommunicatie gaat steeds vaker via glasvezels waardoorheen een smalle bundel ir-straling wordt gestuurd. Bij de verzender wordt eerst een elektrisch signaal omgezet in een ir-signaal en bij de ontvanger gebeurt het omgekeerde.

Een bijzondere toepassing van ir-straling is het onderzoeken van schilderijen. Als een schilderij hiermee beschenen wordt, worden de lagen eronder zichtbaar. Bijvoorbeeld de schets waarmee de kunstenaar aan het schilderij is begonnen (figuur 37). Kunstonderzoekers kunnen zo ontdekken of een schilderij later nog is aangepast.



▶ **figuur 37**
een schilderij onderzoeken met ir-straling



▲ **figuur 38**
Wees voorzichtig met zonnebaden.

Ultraviolette straling

Ir-straling heeft een golflengte die net wat groter is dan die van zichtbaar licht. In het spectrum ligt **ultraviolette straling** (uv-straling) aan de andere kant van zichtbaar licht. De golflengte van uv-straling is dus korter dan die van zichtbaar licht. Net als ir-straling is uv-straling onzichtbaar voor mensen. Sommige dieren zijn wel in staat ir- of uv-straling waar te nemen.

De uv-straling zorgt ervoor dat je bruin wordt als je in de zon ligt, en ook dat je verbrandt als je dat te lang doet. Je huidcellen zijn dan beschadigd, maar ook heb je een licht verhoogd risico op huidkanker. Vandaar dat mensen worden opgeroepen om ‘verstandig te zonnen’ en zonnebrandcrème te gebruiken die de uv-straling absorbeert (figuur 38).



▲ **figuur 39**
Een bankbiljet wordt gecontroleerd onder een uv-lamp.

Uv-lampen **Proef 6**

Uv-lampen in zonnebanken en in blacklights in discotheken herken je aan hun violette licht. De veel sterkere uv-straling die ze uitzenden zie je niet.

Ultraviolette straling kan sommige stoffen sterk laten oplichten. Dit wordt **fluoresceren** genoemd. Fluorescerende stoffen worden onder andere toegepast in tl-buizen en bankbiljetten. Onder een uv-lamp licht de fluorescerende inkt van een echt bankbiljet duidelijk op. Een vervalsing waarbij geen fluorescerende inkt is gebruikt, licht niet op (figuur 39).

Er zijn ook uv-lampen die uv-straling met een relatief korte golflengte uitzenden. Deze lampen worden gebruikt om werkbladen in laboratoria te ontsmetten. Dat wordt steriliseren genoemd (figuur 40).

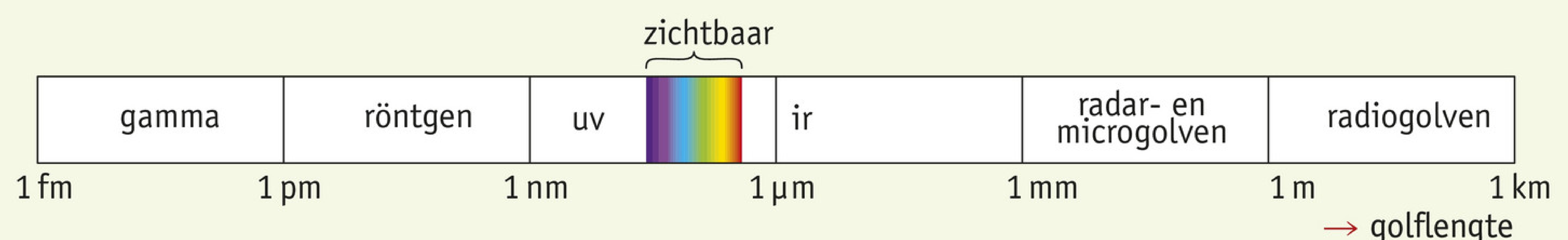


▶ **figuur 40**
Met uv-lampen kan een werkplek in een lab gesteriliseerd worden.

Plus Elektromagnetische straling

Licht, ir-straling en uv-straling zijn enkele voorbeelden van **elektromagnetische straling**, maar er zijn er nog meer. In figuur 41 zie je een overzicht van alle soorten elektromagnetische straling. Daarin heeft elke soort straling een vast golflengtegebied.
Onder de balk staan de golflengtes in stappen van 1000. De mm, m en km ken je wel. De andere kant op zie je de micrometer (μm) ofwel een miljoenste meter, de nanometer (nm) ofwel een miljardste meter, de picometer (pm) ofwel een miljardste mm, en de femtometer (fm). Van deze reeks kun je maar een heel klein deel zien (het zichtbare licht).
Alle soorten elektromagnetische straling hebben dezelfde snelheid: 300 000 km/s (dus niet km/h!).

Radiogolven brengen signalen over van de zendmast naar radio- en tv-antennes. Met radargolven worden de posities van schepen en vliegtuigen vastgesteld. Microgolven warmen voedsel op in de magnetron en artsen gebruiken röntgenstraling om in het lichaam te kijken. Radioactieve stoffen zenden gammastraling uit.
De straling wordt gevaarlijker naarmate je verder naar links in het schema komt. Uv-stralen beschadigen huidcellen. Röntgenstraling en gammastraling dringen zelfs door in je lichaam en kunnen daar cellen beschadigen.



▶ **figuur 41**
het spectrum van elektromagnetische straling

opgaven

41 Beantwoord de volgende vragen.
- **a** Waaraan kun je merken dat een hete radiator infrarode straling uitzendt?
- **b** Hoe geeft een afstandsbediening jouw commando's door aan de tv?
- **c** Wat voor straling zenden uv-lampen nog meer uit, naast uv-straling?
- **d** Wat zie je als er ultraviolette straling op een fluorescerende stof valt?
- **e** Verklaar de aanduiding 'ultraviolet'.

42 Bekijk de vier bronnen van ir- of uv-straling.
Welke soort straling (ir of uv) wordt uitgezonden door:
- **a** een blacklight?
- **b** een terrasverwarmer?
- **c** een warmtelamp?
- **d** een zonnebank?

43 Mensen, dieren en dingen worden warm als ze infrarode straling absorberen.
Leg uit hoe het komt:
- **a** dat een kip in een grill voortdurend rond moet draaien om gelijkmatig bruin te worden;
- **b** dat het helpt om je stoel een meter naar achteren te schuiven als je het bij een open haard te heet vindt worden.



▲ **figuur 42**
lasser met een laskap

44 Lassers dragen een lashelm (figuur 42). Het glas dat in zo'n helm zit, absorbeert ir-straling, licht en uv-straling.
- **a** Stel dat de lasser géén helm zou dragen.
  Welke soort straling zou dan:
  – de lasser tijdens het lassen te veel verblinden?
  – de ogen van de lasser blijvend beschadigen?
  – het gezicht van de lasser erg heet maken?
- **b** Welke soort straling mag niet volledig tegengehouden worden en waarom?

45 Zonnebrandcrème kan een deel van de uv-straling van de zon tegenhouden. Als je zo'n crème gebruikt, verbrand je minder snel. Op de verpakking staat de beschermingsfactor vermeld. Dit getal geeft aan hoeveel keer je langer in de zon kunt blijven als je je hebt ingesmeerd. Een crème met factor 10 maakt die tijd bijvoorbeeld tien keer zo lang. Als je zonder crème vijf minuten kunt zonnen, wordt dat met de crème dus 10 × 5 = 50 minuten.
- **a** Leg uit waarom het werkzame deel van zonnebrandcrème ook wel een uv-filter wordt genoemd.
- **b** Een fabrikant van zonnebrandcrème geeft voor verschillende huidtypes (I, II en III), de zontijd-zonder-olie (ZZ), de geadviseerde beschermingsfactor (BF) en de maximale zontijd-met-olie (ZM). Zie tabel 2. Neem de tabel over en vul de ontbrekende getallen in.

▼ **tabel 2** zonnetabel

huidtype	I	II	III
ZZ (in min)	15		25
BF	20	12	
ZM (in min)		300	200

46 Zoek op internet informatie over sneeuwblindheid.
- **a** Wat is sneeuwblindheid en waardoor wordt het veroorzaakt?
- **b** Hoe komt het dat vooral wintersporters hier last van kunnen krijgen?
- **c** Waarom loop je in Nederland weinig risico op sneeuwblindheid?
- **d** Wat moet je doen om je tegen sneeuwblindheid te beschermen?

47 Zoek op internet informatie over uv-straling en beantwoord de volgende vragen.
- **a** Tussen welke golflengtes noemt men straling uv-straling?
- **b** Wat wordt bedoeld met de aanduidingen UVA, UVB en UVC?
- **c** Welke van deze soorten uv-straling is nodig voor de aanmaak van vitamine D in het lichaam?
- **d** Welke van deze soorten is het gevaarlijkst voor de mens?
- **e** Waarom is de ozonlaag in de atmosfeer van de aarde zo belangrijk?

48 Doe thuis een onderzoekje met de afstandsbediening van de televisie. Probeer of je met de afstandsbediening via een spiegel of dit boek of een muur de televisie kunt bedienen. Welke conclusies kun je trekken?

Plus Elektromagnetische straling

49 Onderzeeboten gebruiken radargolven en geluidsgolven voor het opsporen van schepen.
- **a** Welke van de twee is elektromagnetische straling?
- **b** Bij welke methode krijg je het snelst informatie terug?

50 Welke soort straling hoort bij de volgende apparaten?
- **a** een magnetron
- **b** een ‘camera’ waarmee de tandarts een foto van je tanden en je kaak maakt
- **c** een digitale camera
- **d** een mobiele telefoon

51 Een haar is ongeveer 100 μm dik. De golflengte van rood licht is 0,7 μm.
- **a** Hoeveel golflengtes van rood licht passen er in de dikte van een haar?
- **b** Leg uit waarom in het Engels een magnetron een ‘microwave’ wordt genoemd.

52 Elektromagnetische straling, dus ook licht, plant zich voort met een zeer hoge snelheid.
- **a** Zoek op hoe groot de lichtsnelheid is in vacuüm.
- **b** Bereken de tijd die licht erover doet om van de zon naar de aarde te komen. De afstand aarde-zon is 149,6 miljoen km.
- **c** De eenheid lichtjaar is geen eenheid van tijd maar van afstand. Het is de afstand die licht in een jaar aflegt.
  Bereken hoeveel km een lichtjaar is.

Practicum

Proef 1 Een spectroscoop maken 20 min

Inleiding
Als er op een zonnige dag een regen- of onweersbui overkomt, zie je soms een regenboog. De zon schijnt dan op de waterdruppels die het zonlicht in verschillende kleuren splitsen. Ook met een spectroscoop kun je wit licht splitsen in de verschillende kleuren waaruit het bestaat.

Doel
In deze proef ga je zelf een eenvoudige spectroscoop maken.

Nodig
- stukje traliefolie
- strook karton
- plakband
- perforator

Let op! Eén kant van het traliefolie (herkenbaar aan een licht waas) is heel kwetsbaar. Raak die kant niet met je vingers aan.

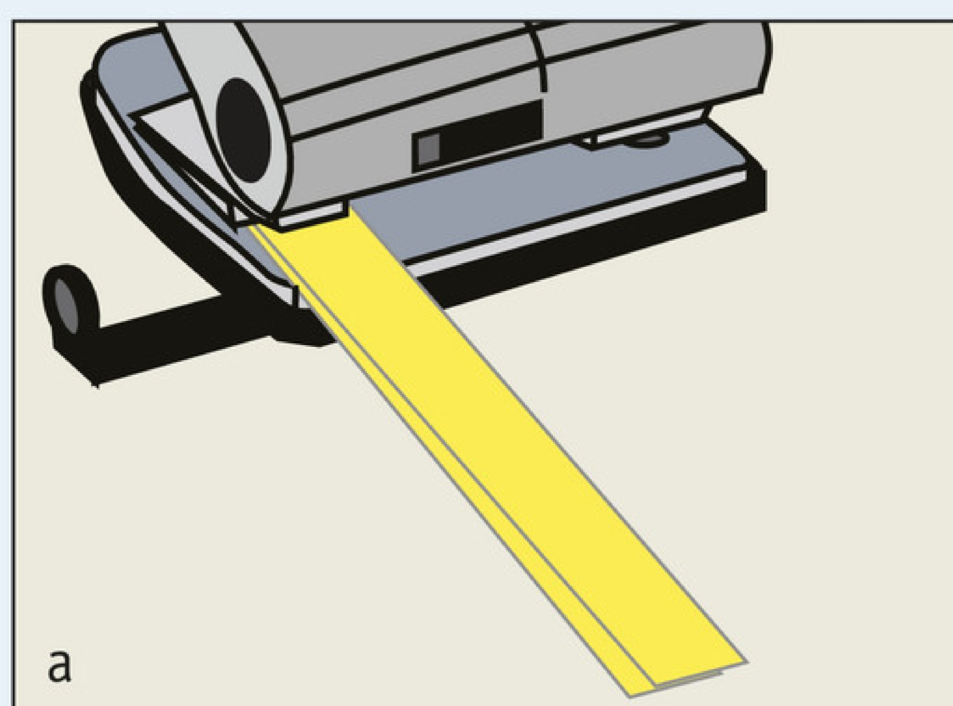
Uitvoeren en uitwerken
Een spectroscoop maken
- Vouw de strook karton dubbel, met de korte kanten op elkaar.
- Schuif de vouw in de perforator (figuur 43a). Maak vlak bij de vouw een perforatie (figuur 43b).
- Scheur een klein stukje plakband af en plak dat op de rand van het traliefolie (met 1 mm overlap).
- Gebruik het plakband om het traliefolie op de perforatie in de strook te leggen (figuur 43c).
- Druk het plakband stevig aan, om het traliefolie op deze plaats vast te maken (figuur 43d).
- Vouw de strook weer dubbel. Maak de stroken vlak onder de perforatie met een stukje plakband aan elkaar vast (figuur 43e).

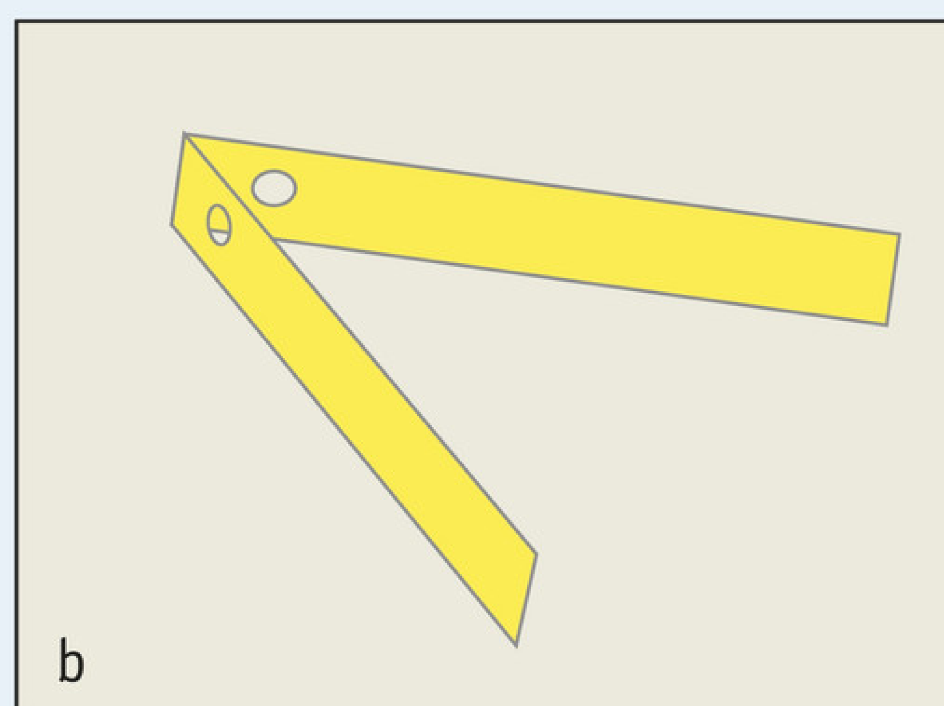
Een spectroscoop gebruiken
- Houd de spectroscoop vlak voor een oog en kijk net naast een lichtbron. Je ziet dan de kleuren waaruit het licht bestaat.
- Kijk door de spectroscoop naar buiten, maar NIET recht in de richting van de zon!

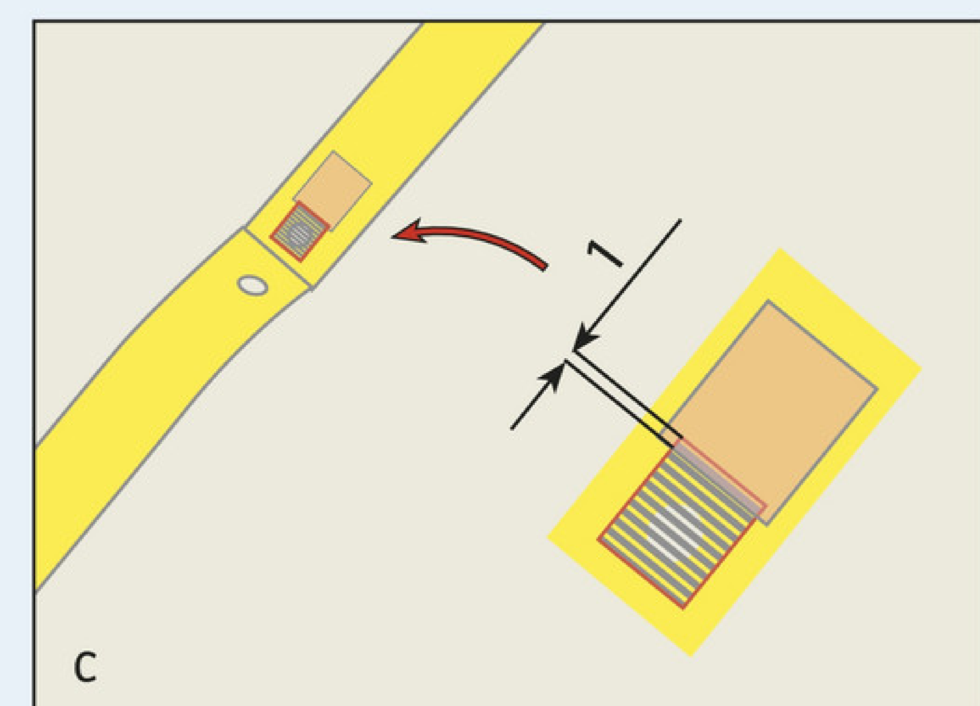
1 Uit welke kleuren bestaat het daglicht?

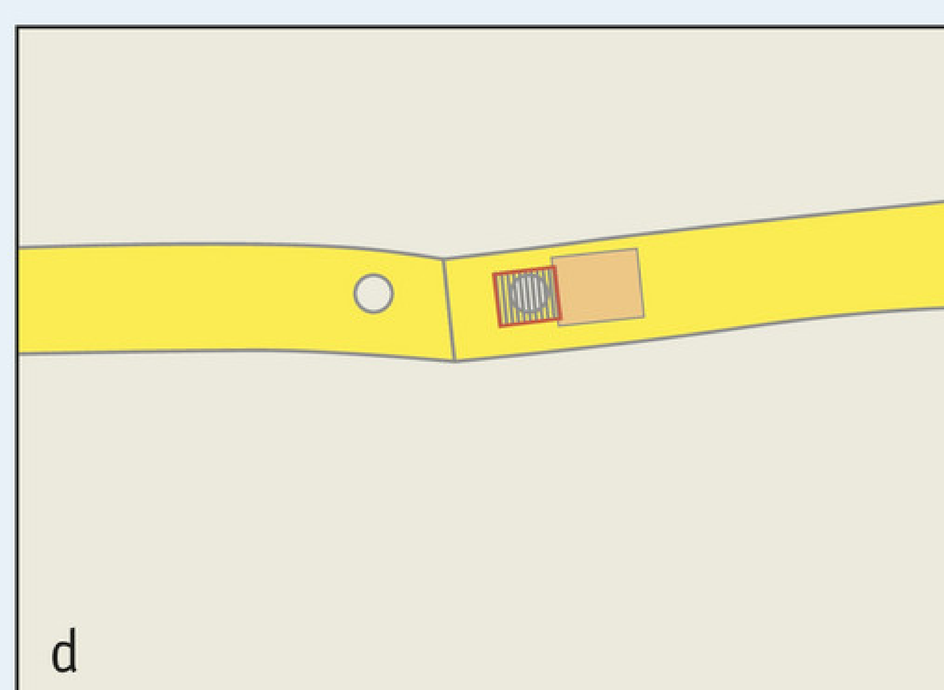
- Kijk door de spectroscoop naar verschillende bronnen van wit licht.

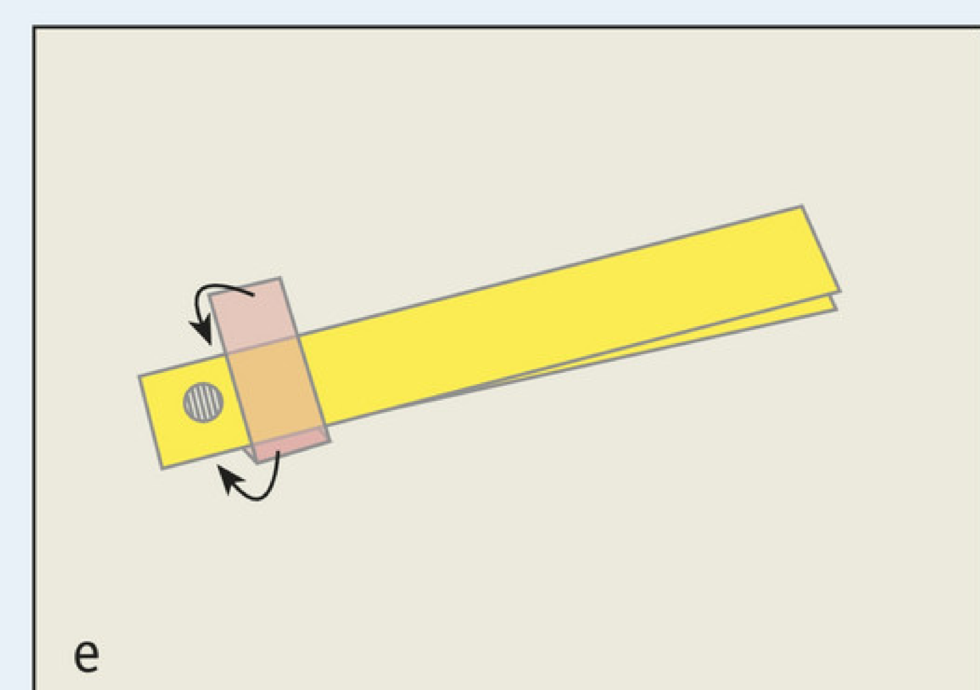
2 Heeft het licht van deze lichtbronnen dezelfde samenstelling als zonlicht? Waaraan zie je dat?











▲ **figuur 43**
Zo maak je je eigen zakspectroscoop.

Proef 2 De spectra van lampen 30 min

Inleiding
Het licht van een lamp bestaat uit verschillende kleuren. Als je het lamplicht door een spectroscoop bekijkt, zie je de verschillende kleuren naast elkaar. Zo'n reeks kleuren noem je het spectrum van de lamp.

Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe het spectrum van verschillende lampen eruitziet.

Nodig
- zakspectroscoop
- tl-buis
- lagedruknatriumlamp (SOX)
- sl-lamp
- halogeenlamp
- kwiklamp
- kleurpotloden

Uitvoeren en uitwerken
– Gebruik de zakspectroscoop om het spectrum van de verschillende lampen te bekijken.

1 Teken met kleurpotloden de spectra van de lampen na.
2 Welke lamp geeft maar één kleur licht?

Proef 3 Kernschaduw en halfschaduw 15 min

Inleiding
Met twee lampen boven een tafelblad krijg je andere schaduwen dan met één lamp. Vaak kun je dan een donkere kernschaduw zien, tussen twee lichtere halfschaduwen.

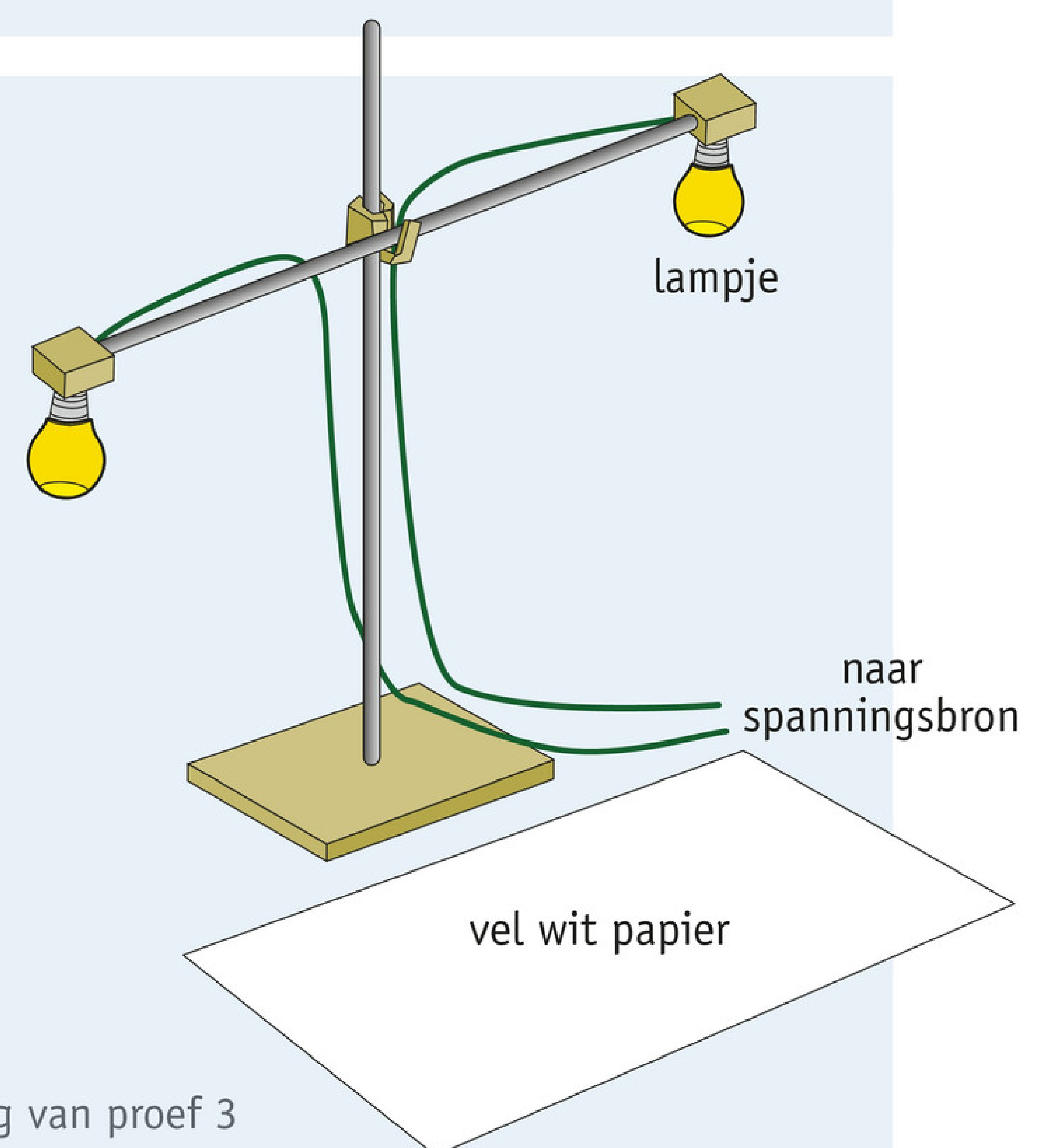
Doel
Bij deze proef ga je onderzoeken hoe je een kernschaduw en halfschaduwen kunt laten ontstaan.

Nodig
- statief met klemmen
- twee lampjes
- spanningsbron
- snoeren
- vierkant stukje karton
- vel wit papier

Uitvoeren en uitwerken
– Maak de opstelling van figuur 44.
– Houd het kartonnen vierkantje tussen de lampjes en het vel papier. Beweeg het kartonnetje op en neer.

1 Beschrijf hoe je de schaduwen ziet veranderen:
a als je het kartonnetje omhoog beweegt, richting de lampjes;
b als je het kartonnetje omlaag beweegt, richting het vel papier.

– Houd het kartonnetje zo dat je twee lichtere schaduwen naast elkaar ziet zonder dat deze elkaar overlappen. Dit noem je halfschaduwen.
– Draai het linker lampje los zodat het uitgaat.



▶ **figuur 44**
de opstelling van proef 3

2 Welke halfschaduw verdwijnt nu? Hoe komt dat?

– Draai het linker lampje weer vast, zodat je opnieuw twee halfschaduwen ziet. Houd het kartonnetje nu zo dat de twee halfschaduwen elkaar overlappen.

3 Hoe ziet de kernschaduw eruit (het gebied waar de twee halfschaduwen over elkaar heen vallen)?
4 Schets hoe de schaduwen eruitzien. Schrijf de namen kernschaduw en halfschaduw op de juiste plaatsen in je tekening.

Proef 4 De spiegelwet 15 min

Inleiding
Met een spiegeltje kun je het licht van de zon weerkaatsen naar een muur. Je ziet dan op één plaats een lichtvlek verschijnen. Als je het spiegeltje beweegt, beweegt de lichtvlek mee. Zou je kunnen voorspellen waar het zonlicht terechtkomt?

Doel
Bij deze proef onderzoek je in welke richting een spiegel licht weerkaatst.

Nodig
- spiegel
- lichtkastje
- diafragma met één opening
- werkblad 8-13

Uitvoeren en uitwerken
- Pak werkblad 8-13. Zet de spiegel op de aangegeven plaats.
- Schuif het diafragma met één opening in het lichtkastje.
- Laat een lichtstraal op de spiegel vallen, zoals op het werkblad getekend is. De hoek van inval is hier 30 graden.

1 Neem tabel 3 over, met alle tussenliggende hoeken van 10° erbij.

▼ **tabel 3** de meetresultaten van proef 5

hoek van inval	hoek van terugkaatsing
10°	
20°	
enzovoort	
80°	

- Bepaal bij elke hoek van inval de hoek van terugkaatsing

2 Noteer de meetresultaten in de tabel.
3 Welke conclusie kun je trekken?

Proef 5 De plaats van het spiegelbeeld 20 min

Inleiding
Het spiegelbeeld dat ontstaat van een voorwerp voor de spiegel, is een virtueel beeld (schijnbeeld).

Doel
Je onderzoekt op welke plaats je dit virtuele beeld waarneemt.

Nodig
- spiegel + spiegelhouder
- werkblad 8-14

Uitvoeren en uitwerken
- Pak werkblad 8-14. Zet de spiegel op de aangegeven plaats in tekening a, loodrecht op het papier.
- Zet een stip op de plaats waar je het spiegelbeeld van L_1 ziet (je moet wel even door je knieën). Zet er B_1 bij.
- Doe hetzelfde met de punten L_2, L_3 en L_4, en zet bij de beeldpunten respectievelijk B_2, B_3 en B_4.
- Verbind L_1 met B_1, L_2 met B_2, enzovoort.

1 Wat kun je zeggen over de plaats van het spiegelbeeld?

- Bekijk tekening b op het werkblad. Teken met behulp van de spiegel het spiegelbeeld van de verschillende letters.

Proef 6 Fluorescentie 15 min

Inleiding
Als een fluorescerende stof wordt beschenen met een uv-lamp, wordt de uv-straling geabsorbeerd. Een deel van de geabsorbeerde straling wordt weer uitgezonden als zichtbaar licht: je ziet de stof 'oplichten'. Als uv-lamp kun je een zogenoemde blacklight gebruiken.

Doel
Je gaat de werking van een blacklight onderzoeken. De onderzoeksvraag luidt:
Hoe zien bankbiljetten, reflecterende stroken op regenjassen en de inkt van markers er uit als ze met uv-licht worden beschenen?

Nodig
- blacklight
- bankbiljetten
- veiligheidshesje met reflecterende stroken
- marker
- vel wit papier
- gedeeltelijk verduisterde ruimte

Uitvoeren en uitwerken
– Schijn met de blacklight op verschillende bankbiljetten.

1 Waar zie je fluorescentie optreden?
2 Beschrijf hoe de fluorescentie eruitziet.

– Schijn met de blacklight op het vel wit papier.

3 Treedt er nu fluorescentie op?
4 Hoe ziet het papier eruit?

– Maak een eenvoudige figuur op het papier met de markeerpen en bekijk die met de blacklight.

5 Treedt er nu fluorescentie op?
6 Hoe ziet de getekende figuur eruit?

– Schijn met de blacklight op het hesje met de reflecterende strepen.

7 Treedt er fluorescentie op?
8 Beschrijf hoe het hesje er nu uitziet.

Proef 7 Een onderzoek uitvoeren: schimmenspel 45 min

Inleiding
In een schimmenspel, ook wel schaduwtheater genoemd, wordt een verhaal verteld met schaduwbeelden (figuur 45). Het publiek zit voor een doorschijnend scherm, de spelers zitten erachter. Het scherm wordt van achteren verlicht door een lamp. De spelers houden platte poppen (aan stokjes) voor de lamp zodat de schaduwen van de poppen op het scherm vallen. Door de poppen heen en weer te bewegen, kunnen de schaduwen op het scherm groter en kleiner gemaakt worden. Bij deze opdracht ga je onderzoeken waar de grootte van zo'n schaduwbeeld van afhangt.

Doel
Bij deze proef ga je een manier uitwerken om de grootte van een schaduw vooraf te voorspellen.



▲ **figuur 45**
een schimmenspel

Nodig

Bij deze proef bedenk je zelf welke practicumspullen je nodig hebt.

Uitvoeren en uitwerken

- Ga na welke manieren je kent om de waarde van een grootheid te voorspellen. Welke manier ga jij gebruiken?
- Formuleer de onderzoeksvraag (of onderzoeksvragen) die je bij dit onderzoek wilt beantwoorden.
- Bedenk hoe je de onderzoeksvraag betrouwbaar kunt beantwoorden. Wat ga je meten, welke practicumspullen heb je nodig, hoe ga je de metingen verwerken?

1 Maak een werkplan voor dit onderzoek.

- De werkplannen worden de volgende les besproken met de klas. Verbeter je eigen werkplan nog indien nodig.
- Voer daarna het onderzoek uit.

2 Noteer alle meetresultaten, berekeningen en uitkomsten in je schrift.

- Je docent zal je vertellen of je een verslag van deze proef moet maken.

Test Jezelf

Je kunt de vragen 1 t/m 15 ook maken met de computer.

1 Je kunt lampen herkennen aan het licht dat ze uitstralen.
Welke van de volgende vier lampen past bij de vier soorten licht a t/m d?
natriumlamp – spaarlamp – uv-lamp – warmtelamp
- **a** zwak rood licht
- **b** helder geel licht
- **c** zwak violet licht
- **d** helder wit licht

2 Welke twee auto's lijken in het licht van een SOX-natriumlamp dezelfde kleur te hebben?
- **A** een blauwe en een gele auto
- **B** een gele en een witte auto
- **C** een witte en een rode auto
- **D** een rode en een gele auto

3 Magnesiumoxide is een kleurstof die in verf gebruikt wordt. Deze kleurstof weerkaatst 98% van het zonlicht dat erop valt.
Welke kleur heeft magnesiumoxide?
- **A** helder geel
- **B** fel rood
- **C** helder wit
- **D** diep zwart

4 Op een parkeerterrein staan een witte auto en een zwarte auto in de felle zon.
- **a** Welke auto absorbeert het zonlicht grotendeels?
- **b** Welke auto weerkaatst het zonlicht grotendeels?
- **c** Welke auto wordt het heetst?

5 Een tafel wordt verlicht door twee hanglampen. Als je je hand boven de tafel houdt, zie je verschillende schaduwen.
Hoe noem je:
- **a** de donkere schaduw in het midden?
- **b** de twee lichtere schaduwen aan weerszijden?

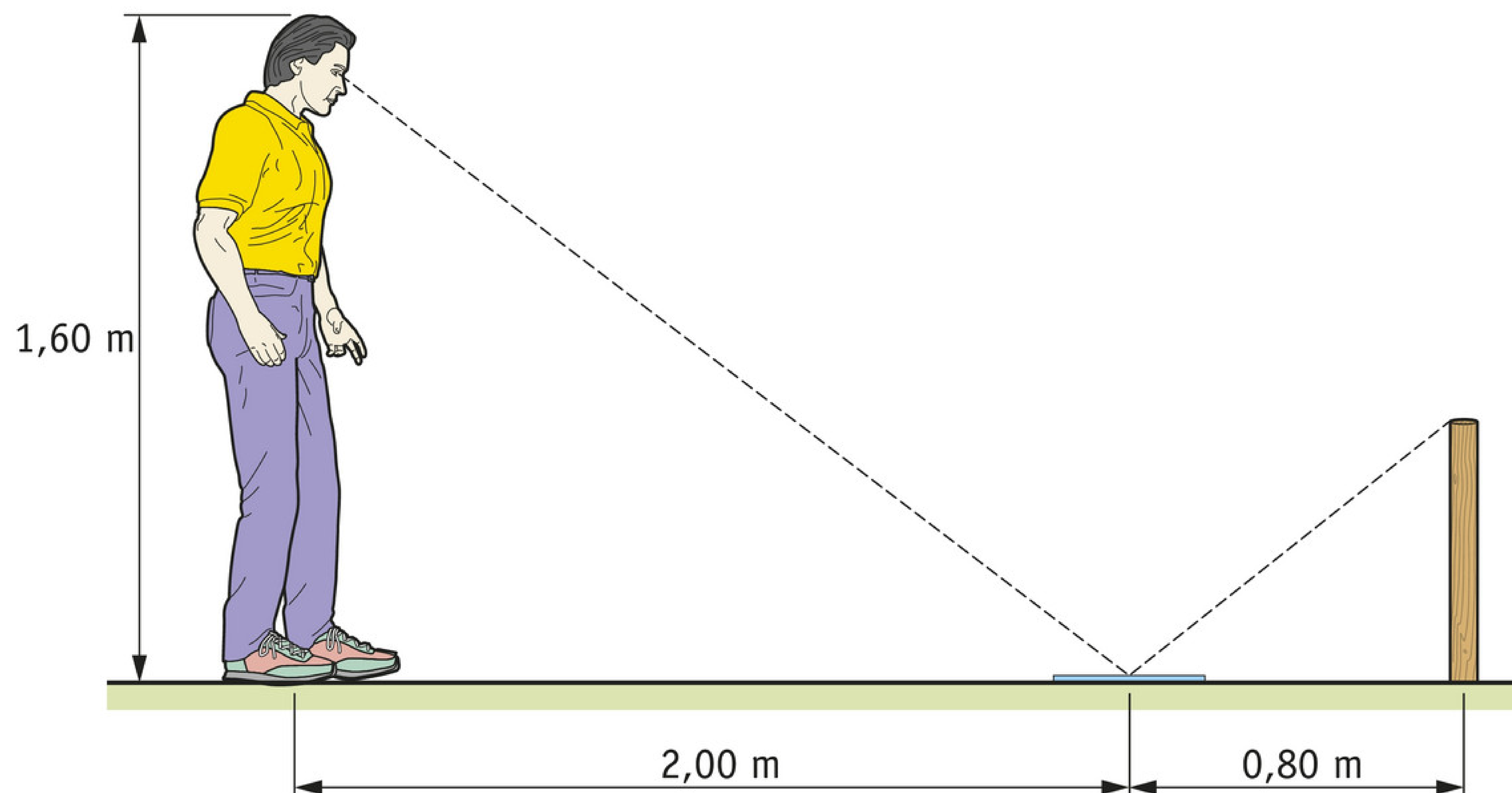
6 De duizenden kleuren op een beeldscherm worden met een beperkt aantal kleuren gemaakt.
- **a** Welke kleuren zijn dat?
- **b** Welke van die kleuren heeft de grootste golflengte?

7 Wanneer krijg je sterke contrasten tussen licht en schaduw:
- **a** als het buiten een beetje mistig is (A) of als de zon volop schijnt (B)?
- **b** als je bureau verlicht wordt door een leeslamp (A) of door een tl-buis (B)?

8 Noteer of de volgende uitspraken waar zijn (W) of onwaar (O).
- **a** Lampen die voor sfeerverlichting gebruikt worden, geven vaak direct licht.
- **b** Indirect licht ontstaat als lamplicht weerkaatst tegen een muur of plafond.
- **c** Mist verstrooit het licht van de zon, zodat je gedempt, diffuus licht krijgt.
- **d** Als zonlicht op pas gevallen sneeuw valt, wordt het spiegelend weerkaatst.

9 Tim zegt: "Als een bundel zonlicht op een vel wit papier valt, dan wordt het licht in alle richtingen teruggekaatst."
Ron zegt: "Als een bundel zonlicht op een spiegel valt, dan veranderen de lichtstralen van richting."
Wie heeft er gelijk?
- **A** Ze hebben allebei gelijk.
- **B** Alleen Tim heeft gelijk.
- **C** Alleen Ron heeft gelijk.
- **D** Ze hebben geen van beiden gelijk.

10 Een lichtstraal wordt door een spiegel teruggekaatst. De hoek tussen de invallende lichtstraal en de spiegel is 50 graden.
Hoe groot is de hoek tussen de invallende lichtstraal en de teruggekaatste lichtstraal?

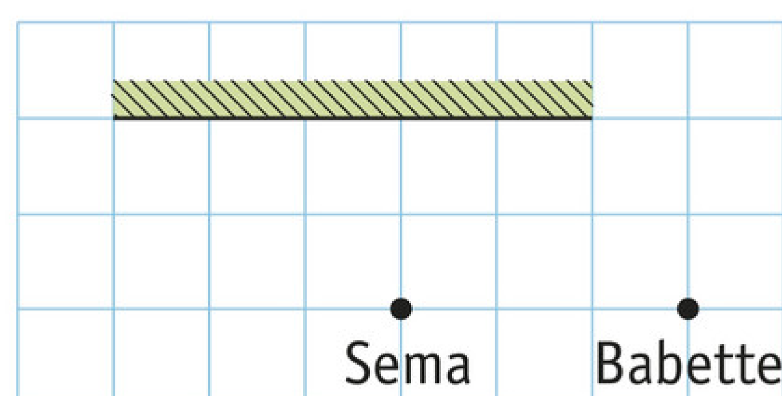


figuur 46
de hoogte meten met behulp van een spiegel

11 Peter legt een spiegeltje tussen zichzelf en een paal zo neer, dat hij via het spiegeltje net de punt van de paal kan zien. Zie verder de gegevens in figuur 46.
Hoe hoog is de paal?
A 64 cm
B 48 cm
C 96 cm
D 72 cm

12 Leg uit waarom je achter glas niet bruin wordt, ook al zit je uren in de zon.

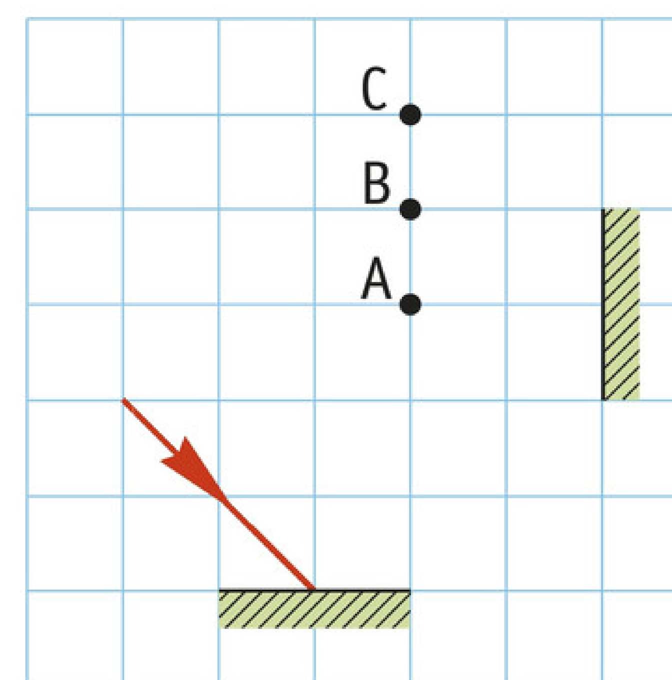
13 Sema en Babette staan bij een spiegel zoals in figuur 47 (je ziet de situatie van boven).
Kan Sema Babette via de spiegel zien?



figuur 47
Kan Sema Babette via de spiegel zien?

14 Een hoefsmid verhit een hoefijzer tot het ijzer roodgloeiend is.
Welke soort(en) straling zendt het hoefijzer dan uit?
A alleen infrarode straling
B infrarode straling en licht
C alleen ultraviolette straling
D ultraviolette straling en licht

15 Een lichtstraal valt op een spiegel (figuur 48).
Door welk punt zal de teruggekaatste straal gaan?
A door punt A
B door punt B
C door punt C
D Dat kun je zo niet bepalen.



figuur 48
Door welk punt zal de teruggekaatste lichtstraal gaan?

16 Een leerling kijkt buiten in de zon naar een rode appel.
a Leg uit hoe het komt dat de leerling de appel kan zien.
b Leg uit hoe het komt dat de leerling de appel als een *rode* appel ziet.

17 Je ziet twee identieke lampen die beide geel licht geven. Een van de twee is een SOX-natriumlamp. De andere is een spaarlamp met een geel filter ervoor.
Beschrijf op welke manier je erachter kunt komen welke lamp de natriumlamp is.

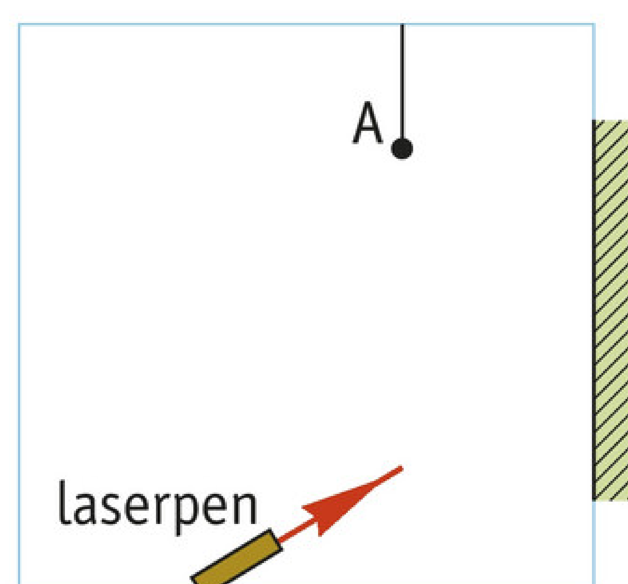
18 Op een zonnige onbewolkte dag lijkt de hemel blauw.
Leg uit hoe dat komt.

19 Bij deze opgave heb je werkblad 8-15 nodig.
Als een tandarts je gebit onderzoekt, richt hij een sterke lamp op je mond. Er valt dan veel licht op de voorkant van je tanden, maar niet op de achterkant. Daarom gebruikt de tandarts een vlak spiegeltje om de achterkant van je tanden te belichten. Op het werkblad is getekend hoe het licht van de lamp op het spiegeltje valt.

a Teken de lichtbundel die door het spiegeltje teruggekaatst wordt.

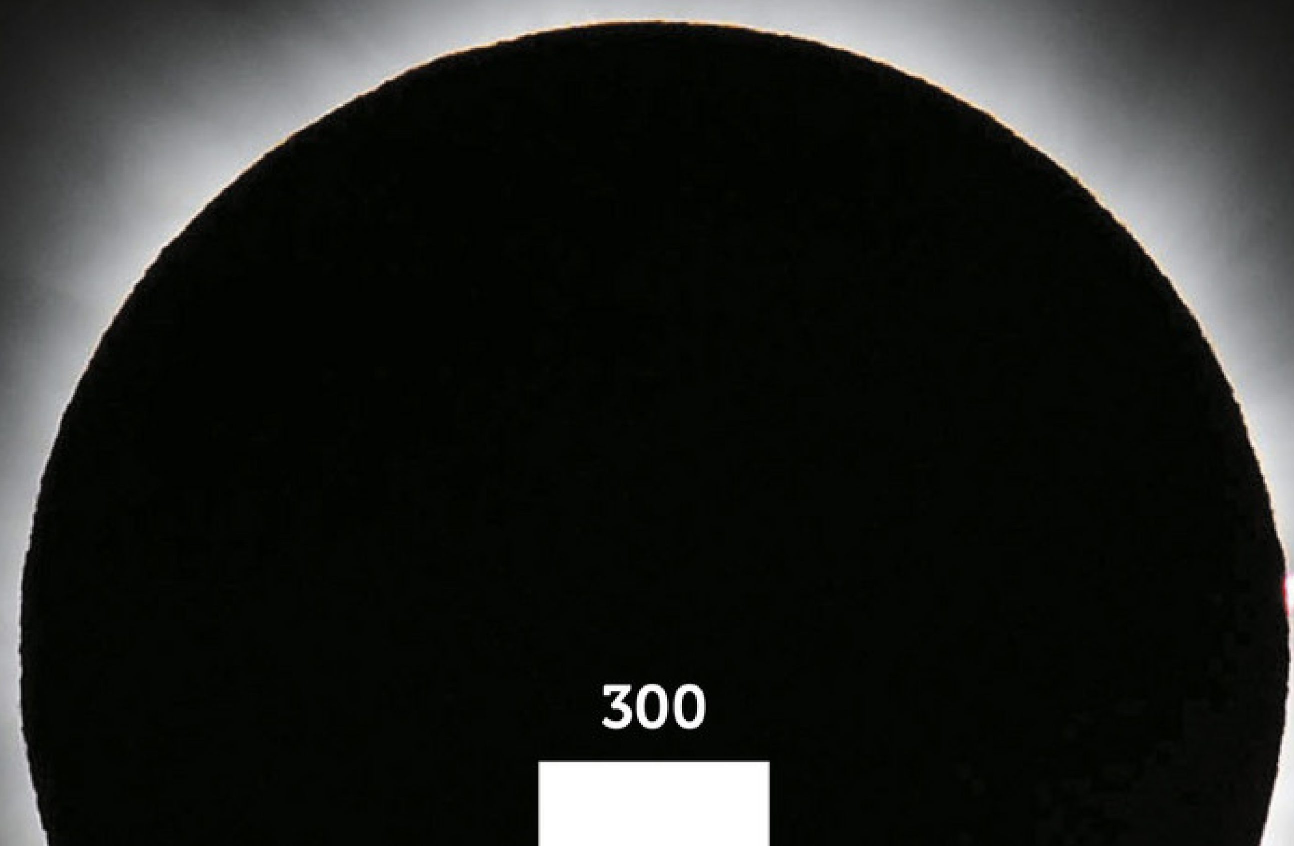
b Kleur het deel van de tand dat via het spiegeltje belicht wordt.

20 Je geeft een feest en je wilt je gasten verrassen. Je bouwt een opstelling waarmee je ongemerkt de muziek kunt aan- en uitzetten (figuur 49). Dit doe je met behulp van een laserpen en een grote spiegel die je aan een van de muren hebt opgehangen. Je richt met je laserpen op de spiegel. Als de laserstraal via de spiegel op de lichtsensor valt, gaat de muziek aan.
Neem de figuur over en laat zien op welk punt van de spiegel je moet mikken.



▲ **figuur 49**
met een laserpen de muziek bedienen

Eclips: een fascinerend verschijnsel



Eclipsjagers worden ze genoemd, de mensen die bij elke zonsverduistering willen zijn. Ze reizen de hele wereld over voor dat magische moment waarin het zonlicht uitdooft en de corona verschijnt. "Dat is zo indrukwekkend," zei een van hen, "dat kun je niet uitleggen, dat moet je meemaken." En blijkbaar delen veel mensen dat gevoel. Een totale zonsverduistering trekt duizenden belangstellenden, elke keer weer.

Het achterna jagen van een eclips is een modern verschijnsel, mogelijk gemaakt door betaalbare vliegverbindingen. Vroeger maakte je hoogstens één keer in je leven een zonsverduistering mee. En geen mens die dat erg vond. Niemand zat erop te wachten dat de zon – de bron van licht en leven – opeens uitdoofde.

De antieke Griekse dichter Archilochus beschreef de paniek die uitbrak bij een zonsverduistering lang geleden. Hij schreef na de eclips op 6 april in het jaar 647 voor onze jaartelling: "Zeus, de vader van de Olympische goden, veranderde de klaarlichte dag in de nacht en verborg het licht van de felle zon. Een vreselijke angst beving de hele mensheid."

Gelukkig begrijpen we nu beter hoe een zonsverduistering ontstaat. Het verschijnsel is nu hoogstens goed voor een luchtig nieuwsbericht. Bijvoorbeeld over een emotionele eclipsjager die na afloop bijna niet uit zijn woorden kan komen: "Je trilt en kunt geen woord uitbrengen. Kippenvel. Tranen. In één woord: ontzagwekkend!"

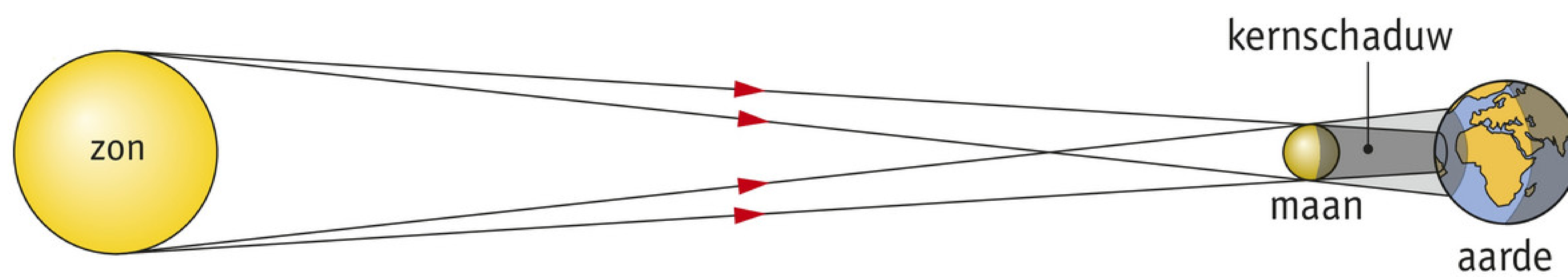
Natuurlijk reageert niet iedereen zo emotioneel. Maar toch zijn er maar weinig mensen op wie een totale zonsverduistering geen indruk maakt. Reden genoeg om eens na te gaan wat de feiten achter dit fascinerende natuurverschijnsel zijn. Vijf vragen en antwoorden.

> "Je trilt en kunt geen woord uitbrengen. Kippenvel. Tranen. In één woord: ontzagwekkend!"

1 Waardoor wordt een zonsverduistering veroorzaakt?
Een zonsverduistering ontstaat doordat de maan, vanuit de aarde bekeken, voor de zon langs beweegt. Het begint ermee dat de maan een hapje neemt uit de zonneschijf. Dat hapje groeit al gauw tot een flinke hap. Op een gegeven moment staat de maan recht voor de zon. De zonsverduistering is dan totaal. Het wordt dan vreemd donker om je heen en je kunt de sterren aan de hemel zien staan.

Als je tijdens een totale verduistering richting de zon kijkt, zie je de corona: de extreem hete 'atmosfeer' van de zon die zich tot ver in de ruimte uitstrekt. Het zwakke licht van de corona verdwijnt normaal gesproken in het veel sterkere zonlicht. Maar bij een totale verduistering kun je de corona waarnemen als een lichtgevende krans rond de zon. Soms zijn er ook zonnevlammen te zien langs de omtrek van de donkere maanschijf.

2 Waarom is een zonsverduistering alleen in een smalle strook op aarde te zien?
Bij een zonsverduistering valt de schaduw van de maan op de aarde. Je hebt een gebied met kernscha-



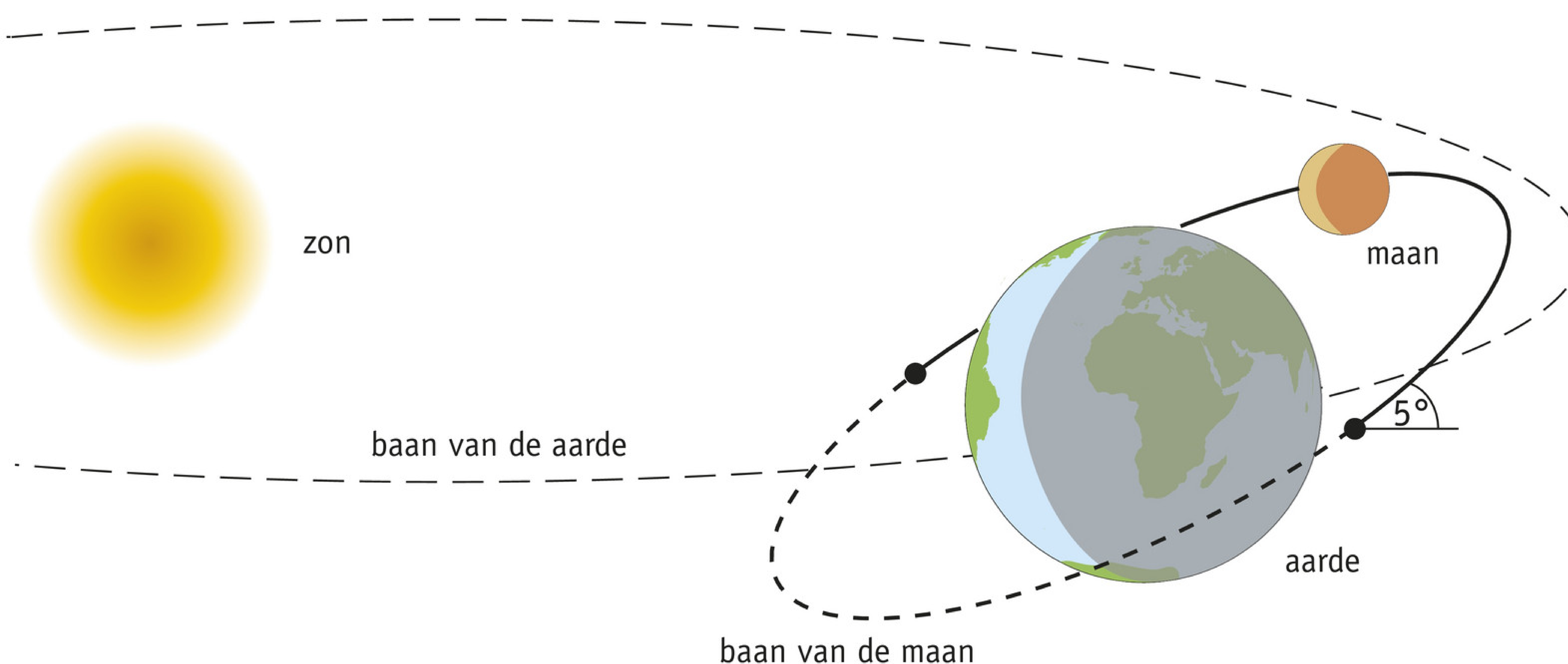
duw en daaromheen een groter gebied met halfschaduw. Alleen in het gebied met kernschaduw zie je de zon volledig verduisterd. En dat gebied is maar klein: in het gunstigste geval 250 kilometer in doorsnee.

Het schaduwgebied beweegt met een grote snelheid over het aardoppervlak. Dat komt doordat de aarde om haar eigen as draait én doordat de maan in een baan rond de aarde beweegt. De snelle beweging van het schaduwgebied zorgt ervoor dat steeds nieuwe mensen de zonsverduistering kunnen zien.

3 Hoe komt het dat er niet elke maand een zonsverduistering te zien is?
Dat heeft ermee te maken dat de baan van de maan (rond de aarde) schuin staat op het vlak van de aardbaan (rond de zon). Zoals je in de tekening hieronder kunt zien, maakt de baan van de maan een hoek van circa vijf graden met het vlak van de aardbaan. Daardoor bevindt de maan zich de helft van de tijd boven het vlak van de aardbaan, en de andere helft eronder.
Elke maand is de maan een poosje onzichtbaar, tijdens nieuwe maan. De maan staat dan tussen de aarde en de zon in. Meestal levert dat geen zonsverduistering op, omdat de maan zich net iets boven of net iets onder het vlak van de aardbaan bevindt. De schaduw gaat dan over de aarde heen of er onderdoor. Alleen als de maan net op dat moment het vlak van de aardbaan passeert, kan de maanschaduw het aardoppervlak bereiken. Zonsverduisteringen zijn daardoor betrekkelijk zeldzaam.

4 Hoe komt het dat er verschillende soorten zonsverduisteringen zijn?
Er zijn totale, gedeeltelijke, ringvormige en hybride zonsverduisteringen. Bij een totale zonsverduistering bedekt de maan de zon helemaal. Bij een ringvormige verduistering is rond de maan nog de buitenste ring van de zonneschijf te zien. Een hybride zonsverduistering ontwikkelt zich van een ringvormige naar een totale verduistering en eindigt vaak weer als een ringvormige. Deze verschillen ontstaan doordat de zon en de maan vanaf de aarde bekeken niet altijd even groot zijn. De afstand tussen de maan en de aarde varieert bijvoorbeeld van 363 000 kilometer tot 406 000 kilometer. Op het meest nabije punt lijkt de maan wel 12% groter dan op het verste punt. Bij de zon zijn de verschillen minder groot, maar nog altijd wel merkbaar. Hierdoor kan de maan de zon de ene keer wel compleet bedekken, maar de andere keer niet.

5 Hoe kun je naar een zonsverduistering kijken zonder je ogen te beschadigen?
Het mengsel van licht en infrarode en ultraviolette straling dat de zon uitstraalt, kan je ogen gemakkelijk beschadigen. Alleen bij een



totale zonsverduistering kun je veilig richting de zon kijken. In alle andere gevallen moet je een beschermmiddel gebruiken. Laat je niet wijsmaken dat je de eclips wel door een zonnebril of een cd kunt bekijken. Koop een goede eclipsbril (of leen een lasbril) en zet die op voordat je je blik op de zon richt. Zo'n bril absorbeert infrarode en ultra-violette straling en verzwakt fel licht: precies wat je nodig hebt om je ogen heel te houden voor de volgende zonsverduistering.

datum	soort	duur totale verduistering	locaties
23 oktober 2014	gedeeltelijk	-	Stille Oceaan, Noord-Amerika
20 maart 2015	totaal	2 min 47 s	IJsland, Europa, Noord-Afrika, Noord-Azië
13 september 2015	gedeeltelijk	-	Zuid-Afrika, Indië, Antarctica
9 maart 2016	totaal	4 min 9 s	Oost-Azië, Australië, Stille Oceaan
1 september 2016	ringvormig	3 min 6 s	Zuid-Afrika, Indische Oceaan
26 februari 2017	ringvormig	0 min 44 s	Zuid-Amerika, Atlantische Oceaan, Afrika, Antarctica
21 augustus 2017	totaal	2 min 40 s	Noord-Amerika, Zuid-Amerika
21 augustus 2017	totaal	2 min 40 s	Noord-Amerika, Zuid-Amerika



Opgaven

1 Bij een gedeeltelijke zonsverduistering wordt de zon nergens op aarde volledig verduisterd. Je ziet dat de maan een flinke hap uit de zon neemt, maar die hap groeit niet uit tot een totale of ringvormige verduistering. Leg uit hoe zo'n gedeeltelijke zonsverduistering ontstaat. Gebruik de woorden 'kernschaduw' en 'halfschaduw'.

2 Zoek op internet naar informatie over de eerstvolgende totale zonsverduistering.
- **a** Hoe groot is de afstand die de kernschaduw over het aardoppervlak aflegt?
- **b** Hoe groot is de snelheid waarmee het schaduwgebied over de aarde beweegt?
- **c** Hoe breed is de baan waarbinnen een totale zonsverduistering te zien zal zijn?

3 Op de pagina hiernaast zie je bovenin een schematische voorstelling van een zonsverduistering. Deze tekening is niet op schaal. Als je de werkelijke (gemiddelde) afstanden van de aarde en de maan tot de zon weet en de diameters van de zon en maan, kun je aan de hand van deze tekening een schatting maken van de grootte van de kernschaduw op aarde.
- **a** Zoek de genoemde afstanden en diameters op, bijvoorbeeld in het tabellenboek Binas.
- **b** Maak een schatting van de grootte van de kernschaduw op aarde. Neem voor de afstand zon-aarde 152,1 miljoen km. Tip: gebruik driehoeken.



Vaardig-heden

Onderzoek doen

Bij het vak natuur- en scheikunde leer je om onderzoek te doen. Je werkt met practicumapparatuur, voert metingen uit, tekent grafieken en maakt berekeningen. Dit deel van het boek gaat over de vaardigheden die je daarvoor nodig hebt.

1 Onderzoek doen

Bij het vak natuur- en scheikunde leer je om zelf onderzoek uit te voeren. Bij het doen van onderzoek ga je stap voor stap te werk.

- **Stap 1: Bedenk een onderzoeksvraag**
  Meestal staat de onderzoeksvraag al in het boek vermeld. Dan ben je natuurlijk snel klaar. Soms mag je zelf een onderzoeksvraag bedenken. Wees daarbij niet te gauw tevreden. Je moet wel een idee hebben hoe je jouw vraag kunt beantwoorden.

- **Stap 2: Maak een werkplan**
  In je werkplan schrijf je op:
  – welke materialen en apparatuur je nodig hebt;
  – welke opstelling je gaat bouwen (maak een tekening);
  – welke grootheden je gaat meten;
  – (eventueel) welke formules je gaat gebruiken.

In figuur 1 zie je een voorbeeld van zo'n werkplan.

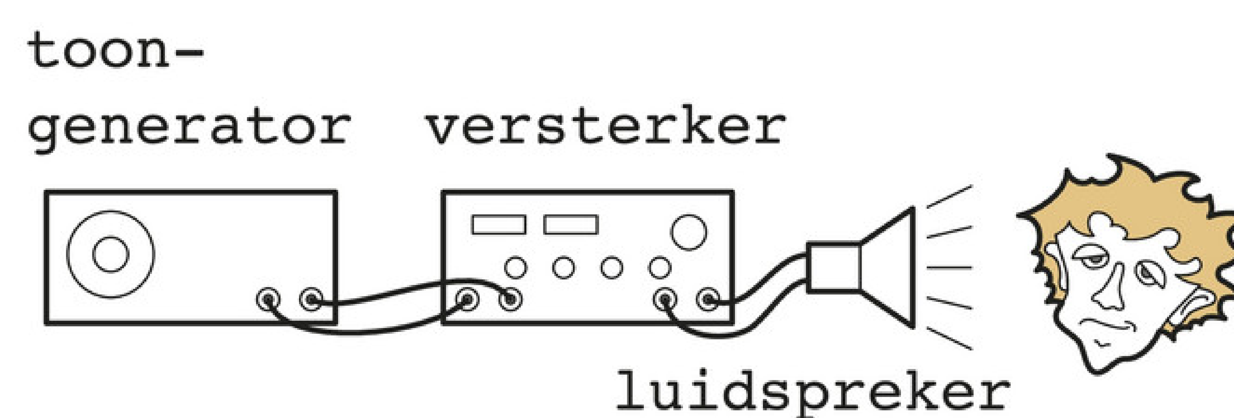
Werkplan van: Eileen en Jamila

Onderzoeksvraag: Wat is de hoogste toon die we kunnen horen?

1 Materialen en apparatuur

* Toongenerator
* Versterker
* Hoge-tonen-luidspreker

2 Opstelling



3 Metingen

Jamila maakt met de toongenerator een steeds hogere toon. Eileen zegt 'stop' als ze geen geluid meer hoort. Jamila kijkt dan op de toongenerator hoe hoog de toon is. Dit doen we een paar keer om te zien of er steeds hetzelfde uitkomt. Daarna gaan we de proef nog eens doen, maar nu luistert Jamila en draait Eileen aan de toongenerator.

▶ **figuur 1**
Zo ziet een werkplan eruit.

- **Stap 3: Uitvoeren en uitwerken**
  Je gaat nu metingen uitvoeren en uitwerken.
  Zie ook de vaardigheden 5 tot en met 13.

- **Stap 4: Conclusies trekken**
  Als alles goed is gegaan, kun je nu conclusies trekken. Probeer een antwoord te geven op je onderzoeksvraag. Vraag je ook af wat er in je onderzoek beter had gekund.

- **Stap 5: Een verslag maken**
  Tot slot maak je van je onderzoek een verslag. Zie vaardigheid 14.

2 Werken met grootheden en eenheden



▲ **figuur 2**
Je meet de grootheid lengte in de eenheid meter.

Bij proeven en onderzoeksopdrachten doe je vaak metingen. Je gebruikt een meetinstrument om een getalwaarde te vinden voor een eigenschap, zoals de lengte of de temperatuur.

Grootheden
Een **grootheid** is een eigenschap die je kunt meten met een meetinstrument. Voorbeelden van grootheden zijn lengte, massa en temperatuur. Je kunt deze grootheden meten met een meetlat (voor de lengte), een weegschaal (voor de massa) en een thermometer (voor de temperatuur).

Eenheden
Om een grootheid te kunnen meten, moet je eerst een maat met elkaar afspreken. Zo'n maat noem je een **eenheid**. Je meet je lengte in meters, je massa in kilogrammen en je lichaamstemperatuur in graden Celsius.

Voor elke grootheid bestaat een internationaal erkende **SI-eenheid**, zoals de meter voor de lengte, de seconde voor de tijd en de kelvin voor de temperatuur. In het dagelijks leven worden daarnaast ook andere eenheden gebruikt. Mensen doen dat, omdat ze zo'n eenheid handiger vinden of omdat ze het nu eenmaal zo gewend zijn.

Meetresultaten noteren

- Ga voor de meting na in welke eenheid je meetinstrument de uitkomst weergeeft. Vaak is dat meteen duidelijk, maar soms moet je eerst even goed kijken.
- Noteer een meetresultaat altijd meteen nadat je de meting hebt gedaan.
- Doe je maar één meting? Noteer het meetresultaat dan in de vorm: [grootheid] = [getal] [eenheid].
- Bijvoorbeeld: massa = 237 gram of: *m* = 237 g.
  Doe je een serie metingen? Noteer je meetresultaten dan in een tabel. Zet boven elke kolom met getallen:
  – welke grootheid je hebt gemeten;
  – welke eenheid je hebt gebruikt (tussen haakjes).

In tabel 1 vind je een overzicht van de grootheden en eenheden die je in dit boek tegenkomt. In de derde en vierde kolom staan de SI-eenheden. Andere veel gebruikte eenheden staan in de laatste twee kolommen.

Soms is het nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere (bijvoorbeeld van km/h naar m/s). Zie daarover vaardigheid 4.

▼ **tabel 1** grootheden en eenheden

grootheid	afkorting	SI-eenheid	afkorting	andere eenheid	afkorting
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg/m^3	gram per kubieke centimeter	g/cm^3
frequentie	f	hertz	Hz	-	-
lengte, afstand	l	meter	m	-	-
luchtdruk, gasdruk	p	pascal	Pa	bar	-
massa	m	kilogram	kg	-	-
snelheid	v	meter per seconde	m/s	kilometer per uur	km/h
spanning	U	volt	V	-	-
stroomsterkte	I	ampère	A	-	-
temperatuur	T	kelvin	K	graden Celsius	°C
tijd	t	seconde	s	minuut, uur	min, h
vermogen	P	watt	W	-	-
volume	V	kubieke meter	m^3	liter	L

3 Werken met voorvoegsels

Soms is een eenheid onhandig groot of juist onhandig klein. Daarom is er een manier bedacht om eenheden 'op maat' te kunnen maken.

De **voorvoegsels** in tabel 2 kun je in principe voor elke eenheid zetten. Zo kun je afgeleide eenheden maken die 10, 100 of 1000 keer zo groot óf zo klein zijn als de originele eenheid. Op die manier kun je de grootte van de eenheid aanpassen aan de situatie: kilogrammen voor de massa van je lichaam, milligrammen voor de werkzame stof in een tablet.

In de praktijk worden sommige combinaties veel gebruikt en andere (bijna) nooit. De decibel (dB) is bijvoorbeeld een populaire eenheid, de decivolt (dV) en de deciwatt (dW) kom je nooit tegen.



▶ **figuur 3** een pijnstiller met 500 mg werkzame stof per tablet

Een eenheid kiezen

- Kijk bij proeven welke eenheid op het meetinstrument vermeld staat. Meestal is het het handigst om die eenheid te gebruiken.
- Kies een kleinere eenheid, als je anders op een erg klein getal (< 0,1) uitkomt. Noteer de uitkomst van een volumemeting bijvoorbeeld als 25 mL en niet als 0,025 L.
- Gebruik een grotere eenheid, als je anders op een erg groot getal (> 1000) uitkomt. Noteer de uitkomst van een berekening bijvoorbeeld als 340 km en niet als 340 000 m.

Soms is het nodig om een gegeven om te rekenen van de ene eenheid naar de andere (bijvoorbeeld van mA naar A). Zie daarover vaardigheid 4.

▼ **tabel 2** voorvoegsels en hun betekenis

voorvoegsel	afkorting	betekenis	voorbeeld
kilo	k	1000	1 kg = 1000 g
hecto	h	100	1 hPa = 100 Pa
deca	da	10	1 dam = 10 m
deci	d	1/10 = 0,1	1 dL = 0,1 L
centi	c	1/100 = 0,01	1 cm = 0,01 m
milli	m	1/1000 = 0,001	1 mA = 0,001 A

4 Eenheden omrekenen

Vaak is het nodig om een eenheid om te rekenen van de ene eenheid naar de andere. Dat doe je bijvoorbeeld als je de snelheid in m/s hebt uitgerekend en iemand je vraagt wat dat in km/h is.

Bij het omrekenen van eenheden ga je als volgt te werk:



▲ **figuur 4**
Zoals je op deze maatkan kunt zien, is 1 L gelijk aan 1000 mL.

- **Stap 1: Noteer een gelijkheid met links de ene eenheid en rechts de andere.**
- **Stap 2: Ga na met welk getal je moet vermenigvuldigen (→) of delen (←).**
- **Stap 3: Voer de juiste vermenigvuldiging of deling uit en noteer het resultaat.**

Voorbeeldopgave 1
In een maatcilinder zit 0,125 L water. Hoeveel milliliter is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 1 L gelijk is aan 1000 mL; zie figuur 4.
Stap 2: Je gaat van liter naar milliliter, dus je moet vermenigvuldigen met 1000.
Stap 3: Uitrekenen: Het volume van het water = 0,125 × 1000 = 125 mL

Voorbeeldopgave 2
Een stroommeter geeft 82 mA. Hoeveel ampère is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 1 A gelijk is aan 1000 mA.
Stap 2: Je gaat van mA naar A, dus je moet delen door 1000.
Stap 3: Uitrekenen: De stroomsterkte = 82 : 1000 = 0,082 A

Voorbeeldopgave 3
Een fietser rijdt met een snelheid van 5,2 m/s. Hoeveel km/h is dat?

Stap 1: Bedenk (of zoek op) dat 10 m/s gelijk is aan 36 km/h.
Stap 2: Je gaat van m/s naar km/h, dus vermenigvuldig je met 3,6.
Stap 3: Uitrekenen: De snelheid = 5,2 × 3,6 = 19 km/h

5 Meetinstrumenten aflezen

Als je een meting doet, lees je een meetwaarde – een getal – af op een meetinstrument. Bij het ene meetinstrument is dat gemakkelijker dan bij het andere.

Een **digitaal meetinstrument**, zoals een stopwatch of een digitale koortsthermometer, werkt elektronisch. De meetwaarde wordt in cijfers op een scherm weergegeven. Dit soort meters maakt het je erg makkelijk: je hoeft alleen de cijfers te noteren.

Een **analoog meetinstrument**, zoals een maatcilinder of een analoge spanningsmeter, heeft een schaalverdeling. Je leest een maatcilinder af door te kijken bij welk streepje de vloeistofspiegel zich bevindt. Bij een analoge spanningsmeter kijk je bij welk streepje de wijzer stilstaat.

Bij deze meetinstrumenten kun je niet meteen de meetwaarde aflezen. Eerst moet je weten hoeveel elk streepje 'waard' is. Daar kun je als volgt achterkomen:

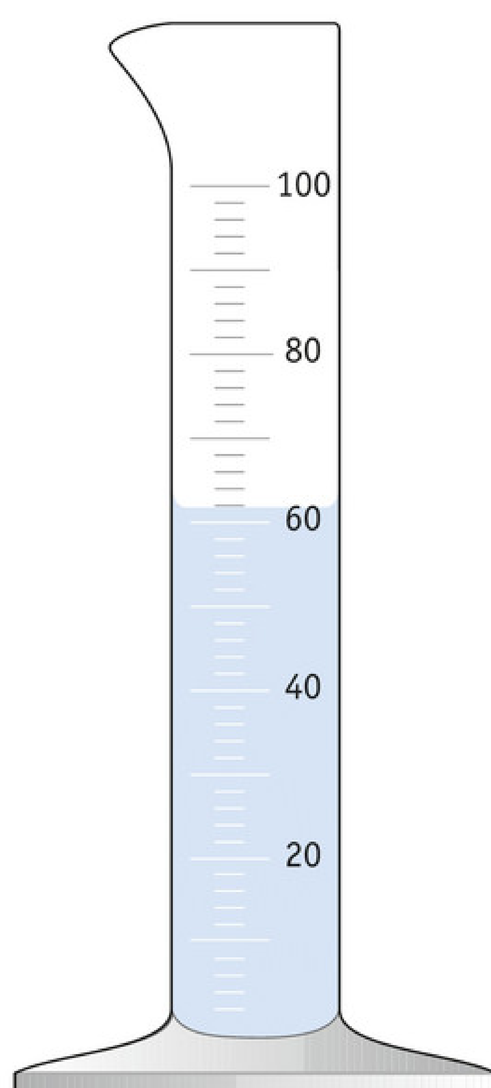
- **Stap 1: Ga van de 0 naar het eerste streepje met een getal.**
  Bij de maatcilinder in figuur 5 is dat het streepje waar 20 bij staat.

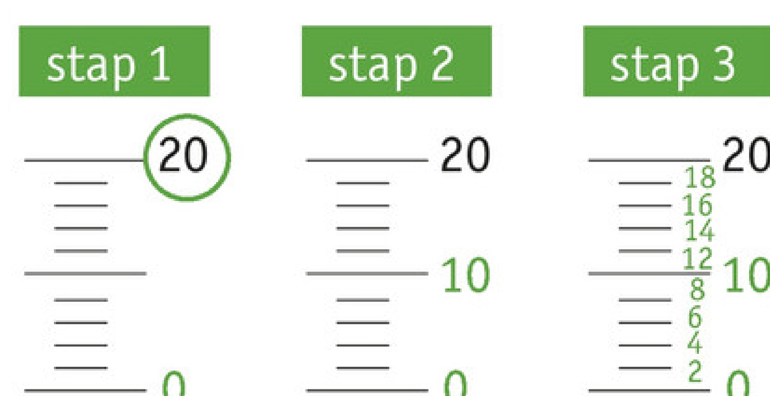
- **Stap 2: Ga naar het streepje halverwege de 0 en het eerste getal.**
  Bedenk welk getal bij dit streepje hoort. Bij de maatcilinder is dat 10.

- **Stap 3: Bedenk nu wat elk streepje van de schaalverdeling waard is.**
  Tel van 0 naar het eerste getal om te controleren of alles klopt.
  Bij de maatcilinder gaat het goed als je in stappen van 2 mL telt.

Elk streepje van de maatcilinder is dus 2 mL waard.
Ga zelf na dat er 62 mL water in de maatcilinder zit.

Bij andere meetinstrumenten met een schaalverdeling ga je op dezelfde manier te werk.





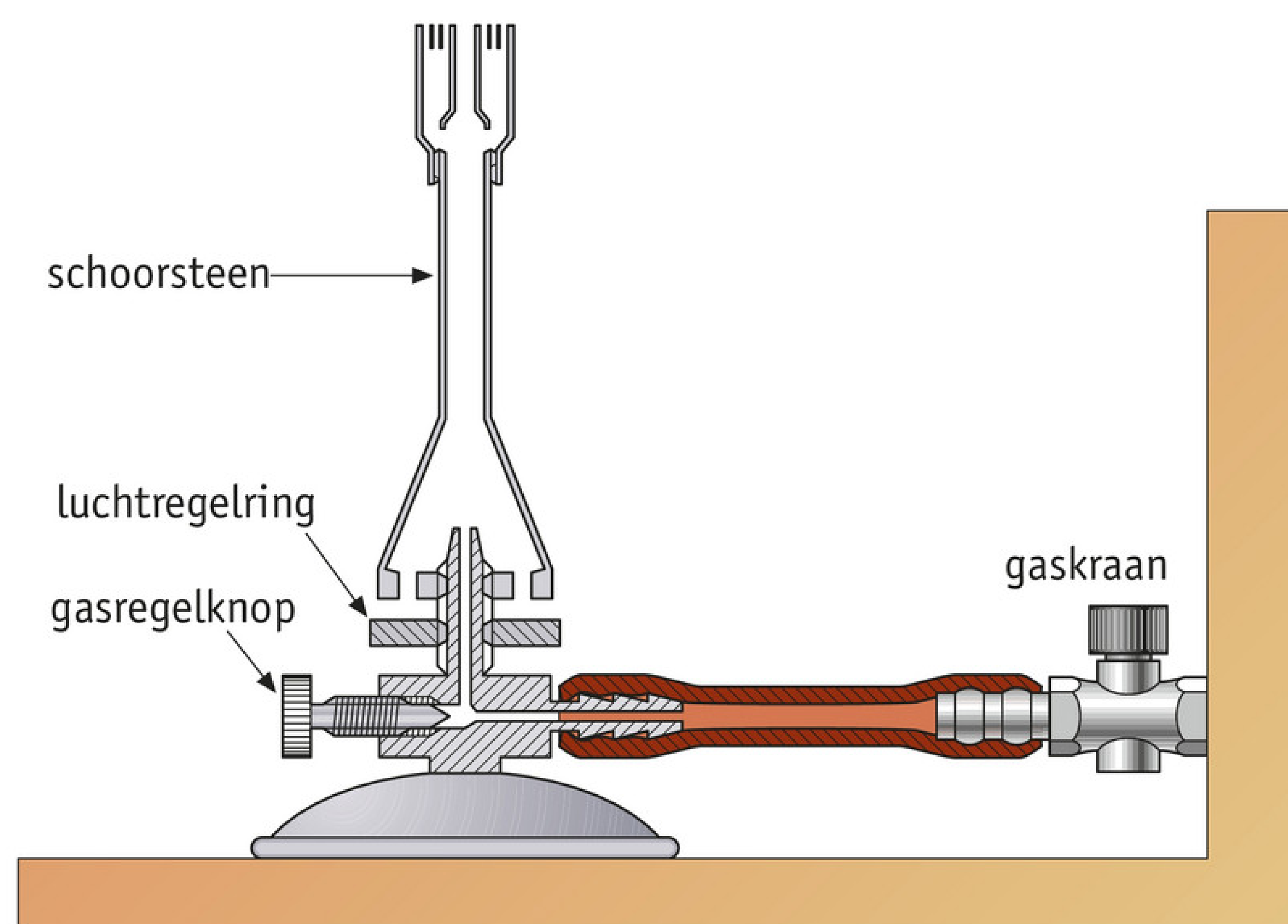
▶ **figuur 5**
Zo lees je een maatcilinder af.

6 Werken met een brander

Bij het vak natuur- en scheikunde gebruik je af en toe een brander. Hieronder staat hoe je ermee moet werken.

Veiligheid
- Houd je aan de veiligheidsregels die je docent met je heeft besproken.

Vooraf
- Controleer of de gasregelknop en de luchtregelring van de brander dicht zijn (figuur 6). Zo niet, draai ze dan dicht.



▶ **figuur 6**
de onderdelen van een brander

Aansteken
- Draai de gaskraan op je tafel open.
- Houd een brandende lucifer boven de brander.
- Draai de gasregelknop open.
- De brander brandt nu met een goed zichtbare, gele vlam.

Verwarmen
- Draai de luchtregelring open.
- De brander brandt nu met een slecht zichtbare, blauwe vlam. Deze blauwe vlam is veel heter dan de gele vlam. Om iets te verwarmen, gebruik je meestal een zacht ruisende, blauwe vlam (en nooit een gele vlam).

Proef onderbreken
- Laat de brander niet alleen als hij met een blauwe vlam brandt.
- Draai altijd eerst de luchtregelring dicht.
- De brander brandt dan met een goed zichtbare gele vlam.

Uitdoen
- Draai de luchtregelring dicht.
- Draai de gaskraan op je tafel dicht.
- Draai de gasregelknop dicht.

7 Werken met een spanningsmeter

Bij proeven met elektriciteit wordt vaak een spanningsmeter gebruikt. Je moet zo'n meter op de juiste manier aansluiten.

Aansluiten

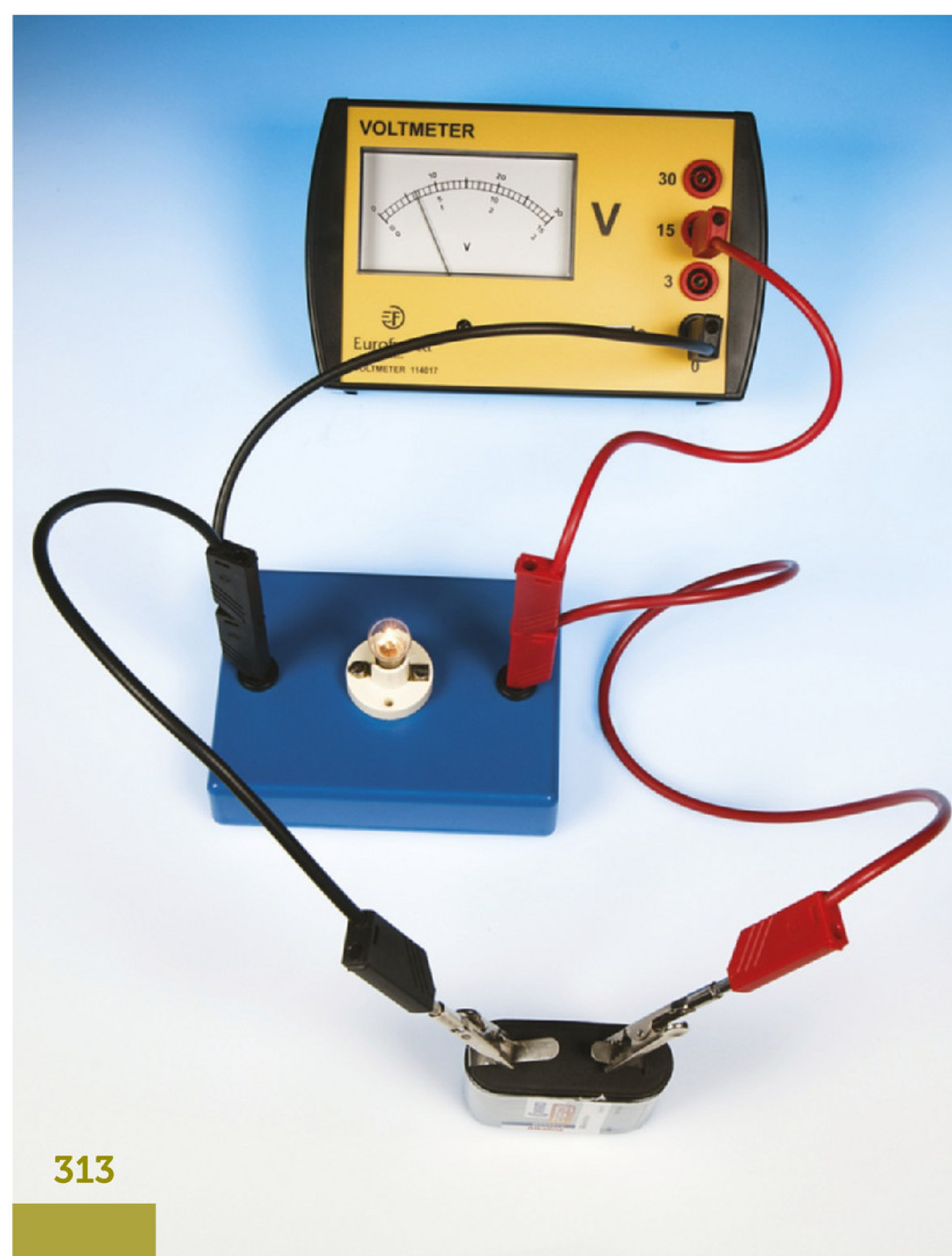
- Om de spanning 'over' een lampje te meten, schakel je de spanningsmeter parallel met het lampje. Zie figuur 7.
- Verbind de plus-pool van de batterij of voeding met de plus-aansluiting op de spanningsmeter. De wijzer beweegt dan de goede kant op. Als het toch fout gaat, sluit dan de twee snoeren 'andersom' op de meter aan.

Meetbereiken

- Veel spanningsmeters hebben verschillende meetbereiken. De meter in figuur 7 heeft bijvoorbeeld drie meetbereiken: 0–3 volt, 0–15 volt en 0–30 volt. Als je het meetbereik van 0–3 volt gebruikt, kun je spanningen meten tot maximaal 3 V.
- Voer eerst een 'testmeting' uit met het grootste meetbereik. Zo voorkom je dat de meter kapot gaat. Je ziet dan vanzelf of je een kleiner meetbereik kunt gebruiken.
- Doe de meting daarna met het kleinst mogelijke meetbereik. Dan slaat de wijzer verder uit en kun je nauwkeuriger aflezen wat hij aanwijst.

Aflezen

- Kijk altijd zo recht mogelijk op de meter en doe je best om nauwkeurig af te lezen.



▶ **figuur 7**
Zo sluit je een spanningsmeter aan.

8 Werken met een stroommeter

Bij proeven met elektriciteit wordt vaak een stroommeter gebruikt. Je moet zo'n meter op de juiste manier aansluiten.

Aansluiten

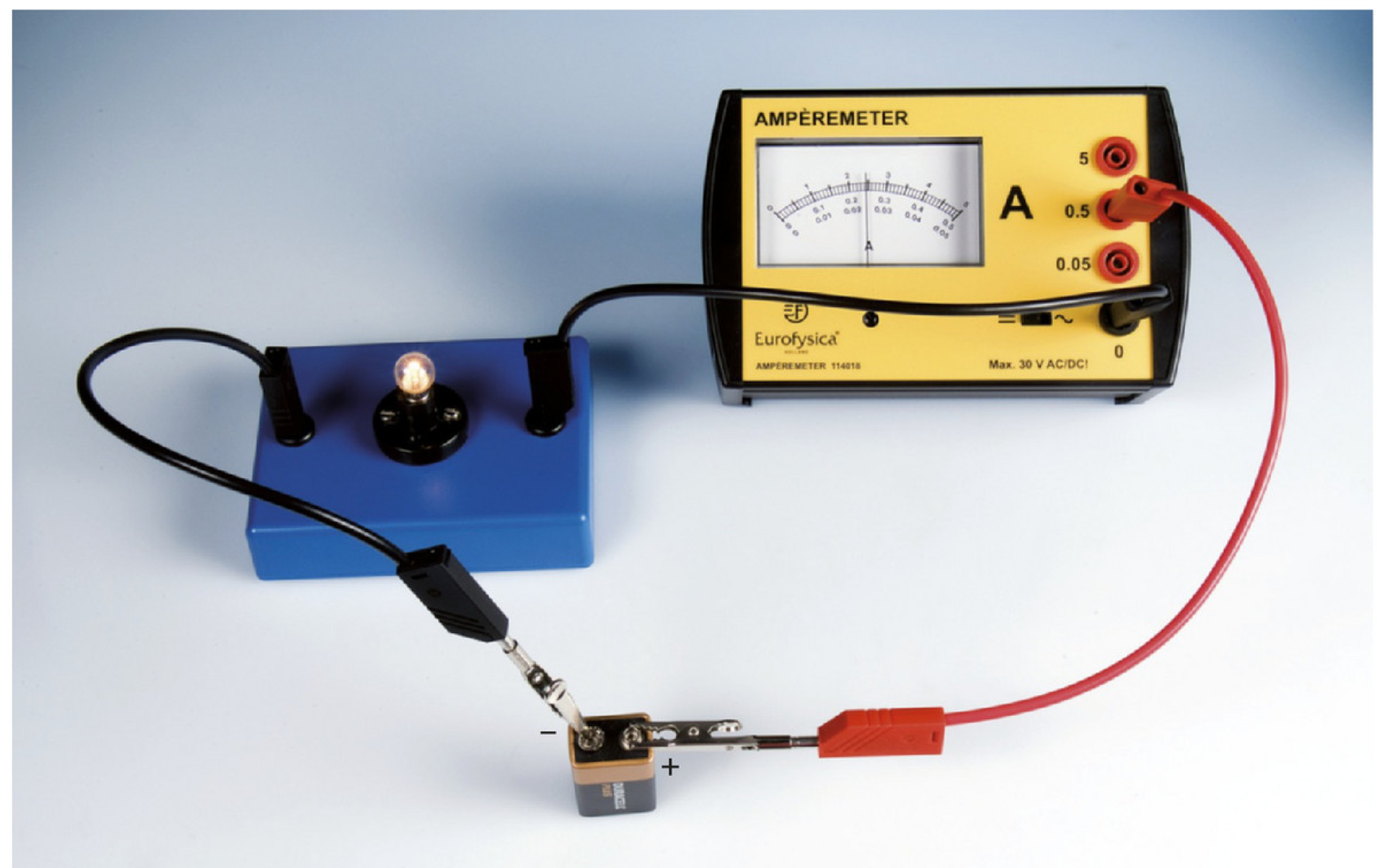
- Om de stroomsterkte door een lampje te meten, schakel je de stroommeter in serie met het lampje. De stroom door het lampje loopt dan ook door de meter.
- Verbind de plus-pool van de batterij of voeding met de plus-aansluiting op de spanningsmeter. De wijzer beweegt dan de goede kant op. Als het toch fout gaat, sluit dan de twee snoeren 'andersom' op de meter aan.

Meetbereiken

- Meestal kun je op de stroommeter verschillende meetbereiken kiezen. De meter in figuur 8 heeft er drie: 0–5 A, 0–500 mA en 0–50 mA. Als je het meetbereik van 0–500 mA gebruikt, kun je stromen meten tot maximaal 500 mA.
- Voer eerst een 'testmeting' uit met het grootste meetbereik. Zo voorkom je dat de meter kapot gaat. Je ziet dan vanzelf of je een kleiner meetbereik kunt gebruiken.
- Doe de meting daarna zo mogelijk met een kleiner meetbereik. Als je ziet dat de stroomsterkte 30 à 40 mA is, schakel je bijvoorbeeld over op 0-50 mA. Dan slaat de wijzer flink ver uit en kun je nauwkeurig aflezen wat hij aanwijst.

Aflezen

- Kijk altijd zo recht mogelijk op de meter en doe je best om nauwkeurig af te lezen.



▶ **figuur 8**
Zo sluit je een stroommeter aan.

9 Werken met een multimeter

Bij proeven met elektriciteit kun je een multimeter gebruiken in plaats van een spanningsmeter of een stroommeter. Met een draaiknop op de meter kun je eenvoudig de te meten grootheid en het gewenste meetbereik kiezen (figuur 9).

De spanning meten

- Zet de draaiknop in het gebied DCV of V= en kies het hoogste meetbereik.
- Sluit de multimeter aan als een spanningsmeter: parallel met het lampje.
- Voer een ‘testmeting’ uit. Herhaal dit zo nodig met een kleiner meetbereik.
- Voer ten slotte de ‘echte’ meting uit met het kleinst mogelijke meetbereik.

De stroomsterkte meten

- Zet de draaiknop in het gebied DCA of A= en kies het hoogste meetbereik.
- Sluit de multimeter aan als een stroommeter: in serie met het lampje.
- Voer een ‘testmeting’ uit. Herhaal dit zo nodig met een kleiner meetbereik.
- Voer ten slotte de ‘echte’ meting uit met het kleinst mogelijke meetbereik.

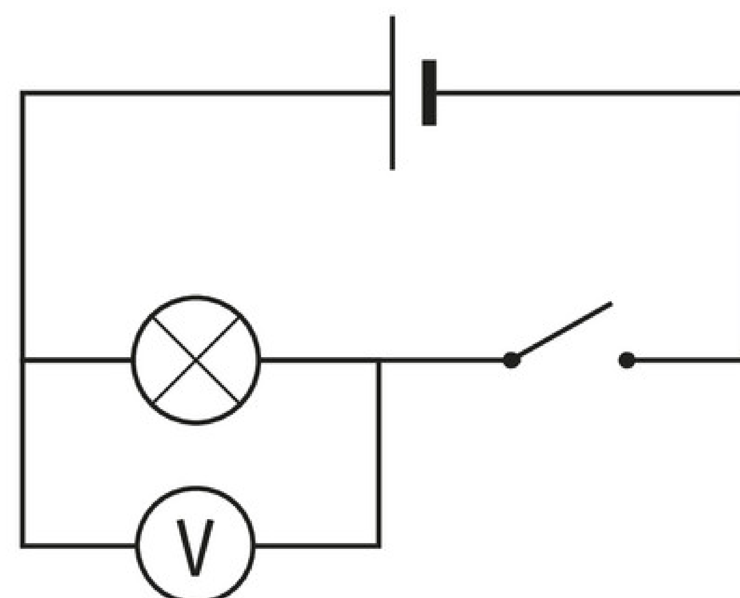


▶ **figuur 9**
een multimeter

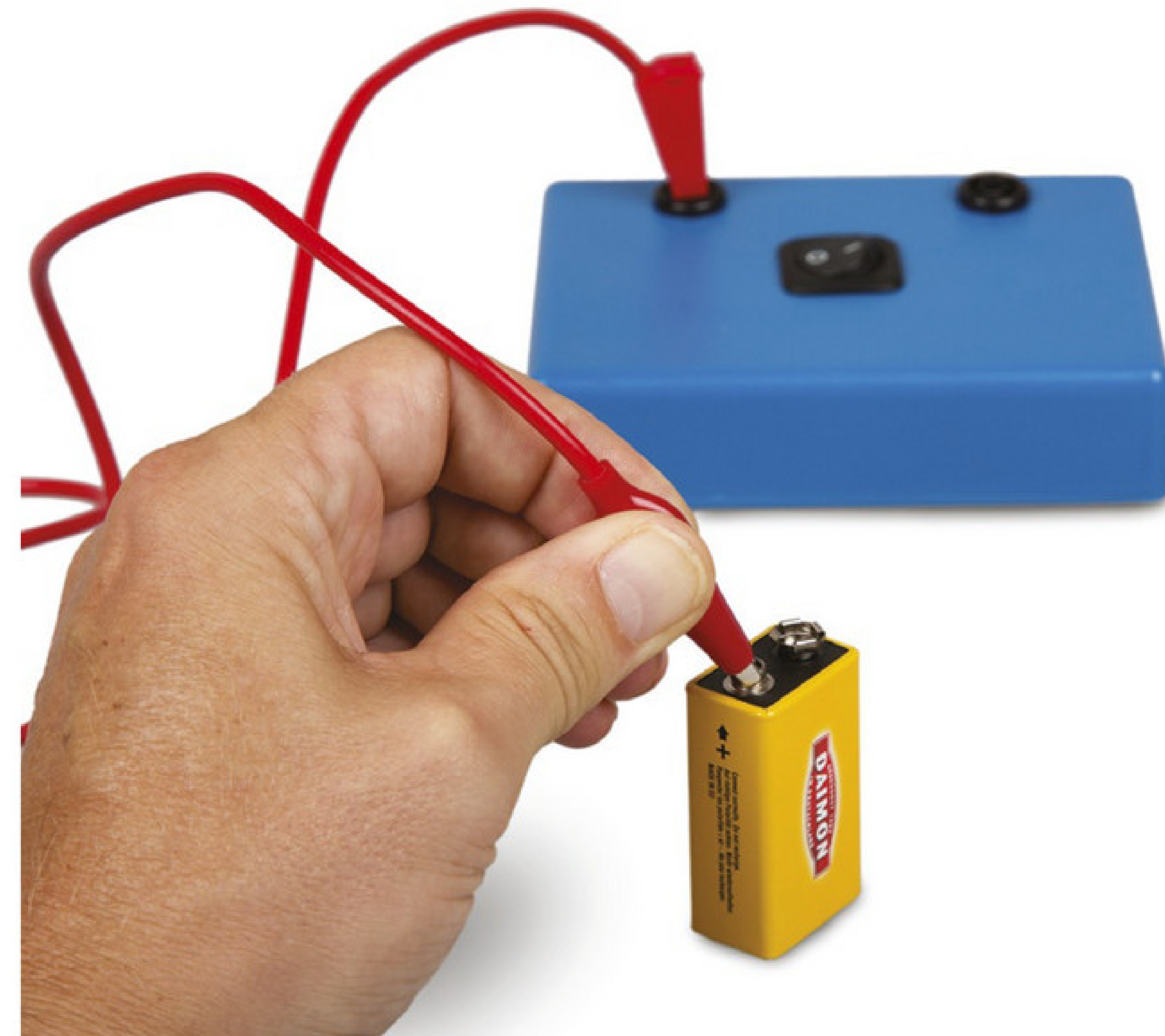
10 Schakelingen bouwen

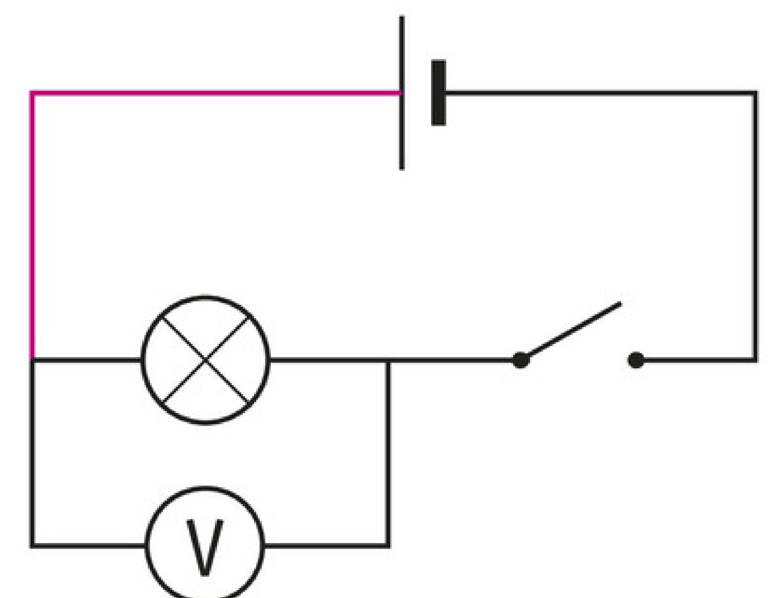
Bij sommige proeven bouw je een schakeling aan de hand van een schakelschema. Je kunt zo'n schakeling het beste stap-voor-stap opbouwen. In figuur 10 zie je hoe dat werkt.



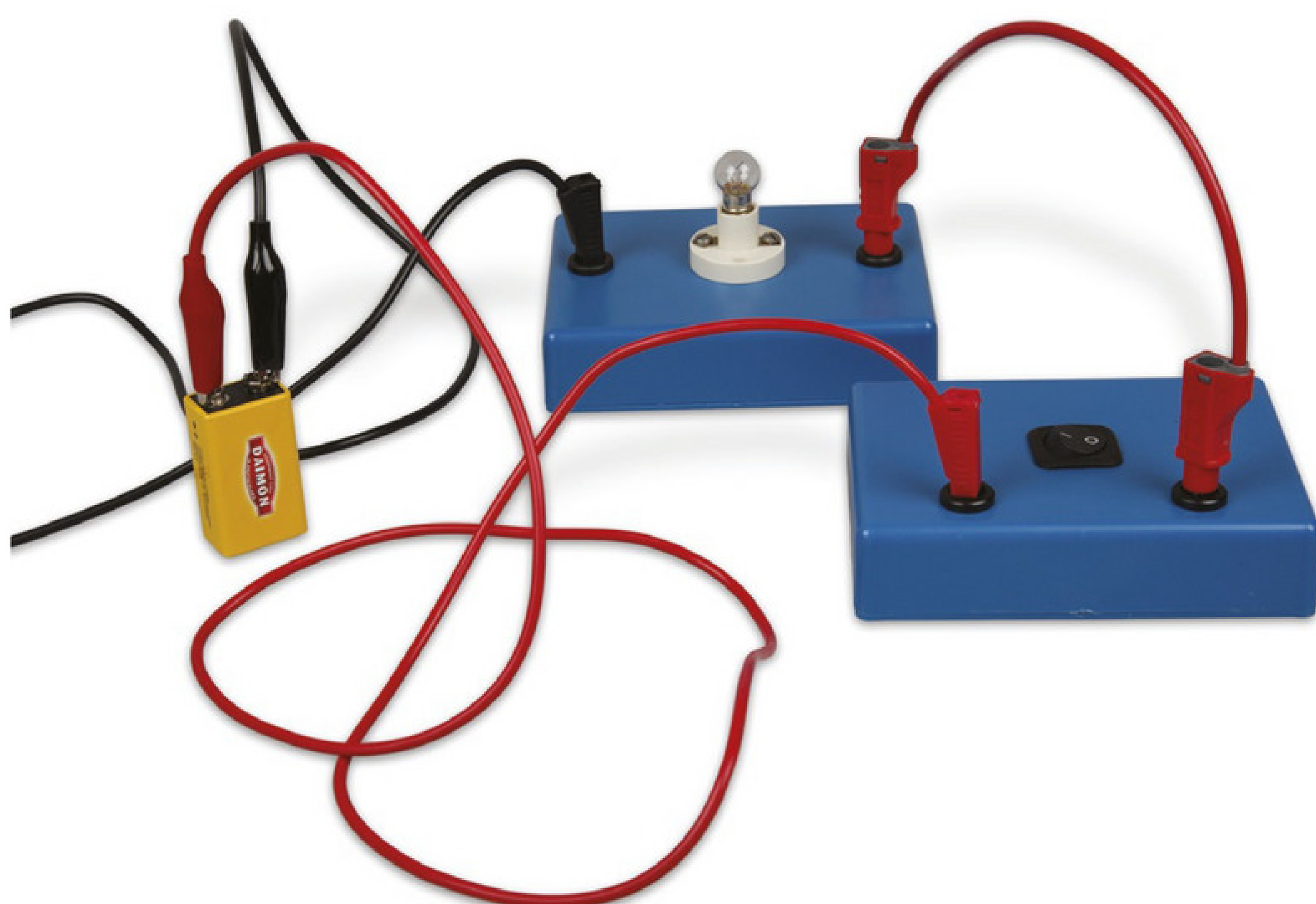


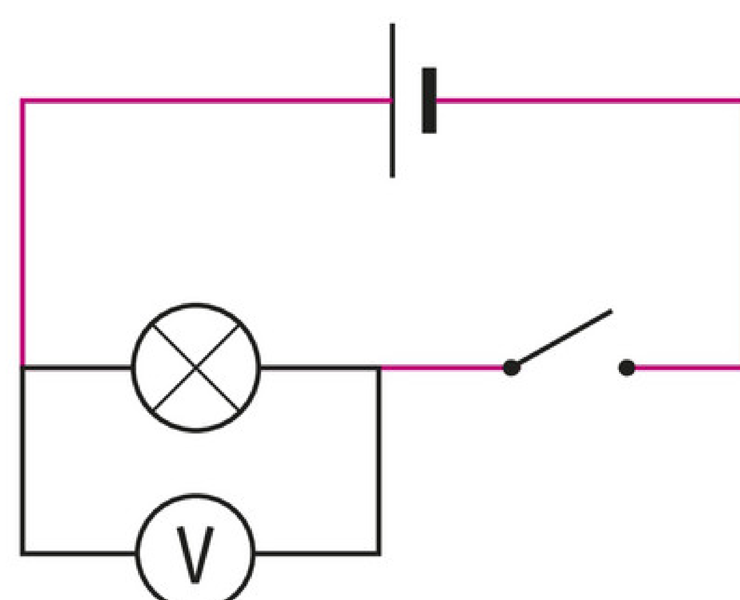
1 Verzamel de verschillende onderdelen.





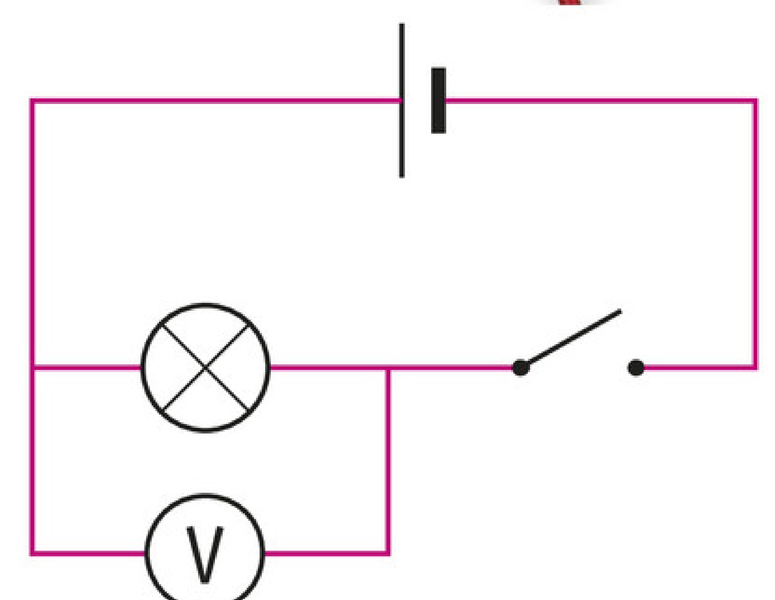
2 Begin met een rood snoer aan de plus-kant.





3 Sluit het lampje en de schakelaar aan: in serie.





4 Sluit de spannings-meter aan: parallel met het lampje.

▲ **figuur 10**
een schakeling bouwen

11 Werken met een oscilloscoop

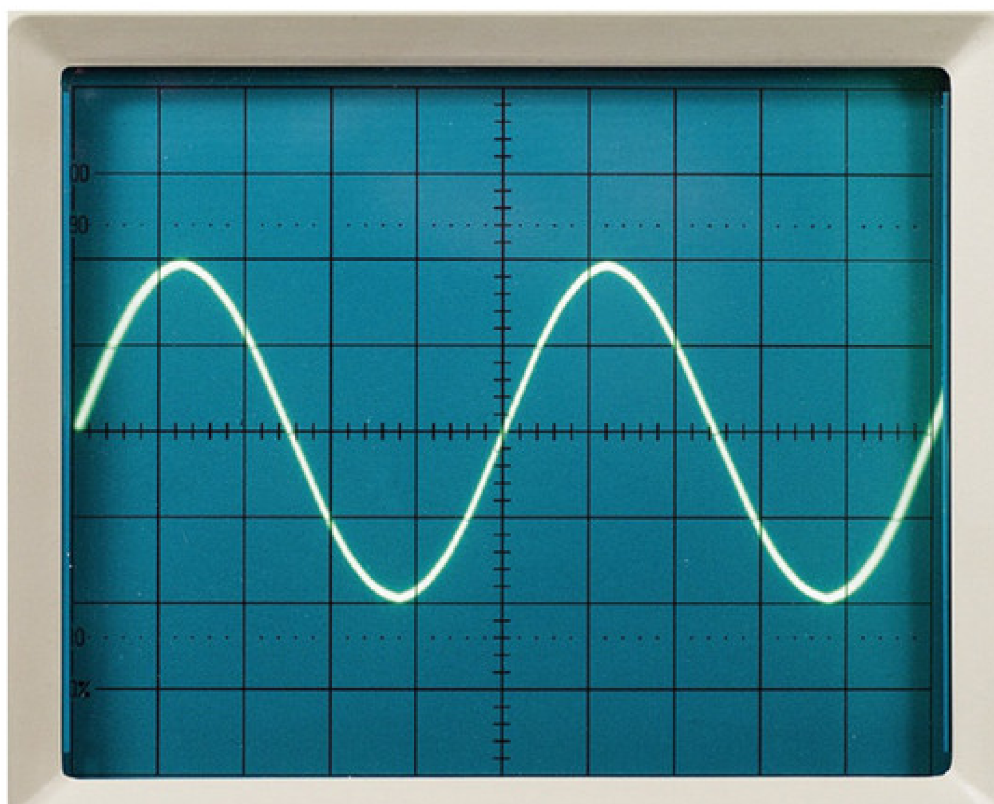
Met een oscilloscoop kun je de frequentie van een toon bepalen. Daarvoor moet je een microfoon aansluiten op de ingang van de oscilloscoop. Op het scherm verschijnt dan een afbeelding van de geluidstrilling.



▲ **figuur 11**
de tijdbasis van een oscilloscoop

De tijdbasis
Het scherm van de oscilloscoop is verdeeld in vakjes. Langs de horizontale as is de tijd uitgezet. Als één vakje 2 milliseconden breed is, zeg je dat de tijdbasis op 2 milliseconden per onderverdeling (2 ms/div) staat ingesteld. Je kunt de tijdbasis instellen met een draaiknop op de oscilloscoop (figuur 11).

De tijdbasis instellen
- Soms zijn er te veel trillingen op het scherm te zien. Stel de tijdbasis dan in op een kleinere waarde.
- Soms is er maar een klein stukje van één trilling te zien. Stel de tijdbasis dan in op een grotere waarde.
- De tijdbasis is goed ingesteld als er enkele trillingen op het scherm te zien zijn. Je kunt dan goed op het scherm aflezen hoeveel tijd voor één trilling nodig is (figuur 12).



▲ **figuur 12**
het oscilloscoopbeeld van een trilling

Voorbeeldopgave
De tijdbasis van de oscilloscoop in figuur 12 is ingesteld op 2 ms/div (2 milliseconden per onderverdeling).
Bereken hoe groot de frequentie van de afgebeelde trilling is.

Je ziet dat één volledige trilling vijf vakjes beslaat.
$T = 5 \times 2 \text{ ms} = 10 \text{ ms} = 0{,}01 \text{ s}$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}01} = 100 \text{ Hz}$$

12 Werken met formules

Bij het vak natuur- en scheikunde moet je af en toe berekeningen maken. Je moet daarbij duidelijk laten zien hoe je aan het antwoord komt.

Werk een berekening daarom als volgt uit:

- **Stap 1: Schrijf de gegevens volledig op.**
- **Stap 2: Noteer wat gevraagd wordt.**
- **Stap 3: Noteer de formule in de juiste vorm.**

Je schrijft de formule voor het vermogen P:

– als $P = U \cdot I$ om het vermogen P te berekenen.

– als $U = \frac{P}{I}$ om de spanning U te berekenen.

– als $I = \frac{P}{U}$ om de stroomsterkte I te berekenen.

- **Stap 4: Vul de gegevens in.**
- **Stap 5: Noteer het antwoord: een getal, gevolgd door een eenheid.**

Rond de uitkomst af, als je antwoord anders te veel cijfers krijgt. Een bruikbare vuistregel is dat je antwoord evenveel of maximaal één cijfer meer heeft als het gegeven met het kleinst aantal cijfers.

Voorbeeldopgave
Een metalen cilinder heeft een massa van 196 g en een volume van 22 cm^3.
Bereken de dichtheid van de stof waarvan het cilindertje gemaakt is.
Om welke stof zou het kunnen gaan?

gegevens $m = 196$ g
$V = 22\ cm^3$

gevraagd $\rho = ?$

uitwerking $\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{196}{22} = 8{,}9\ g/cm^3$

Het cilindertje zou van koper gemaakt kunnen zijn. Zie tabel 2 in paragraaf 4 van hoofdstuk 2.

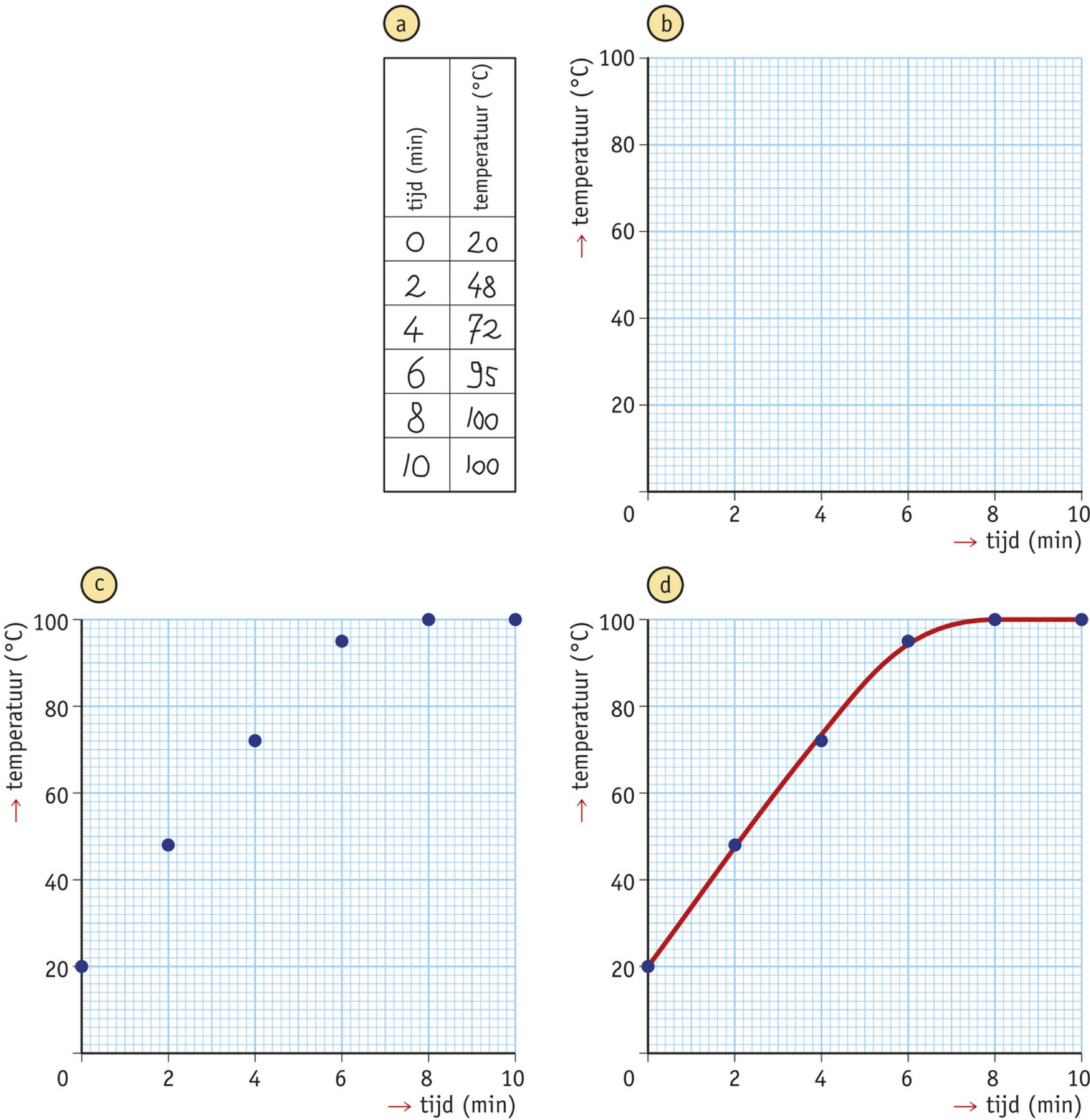
13 Werken met tabellen en grafieken

Veel onderzoeksvragen gaan over het verband tussen twee grootheden.
Neem bijvoorbeeld de onderzoeksvraag:
Wat is het verband tussen de temperatuur van water in een bekerglas en de tijd dat het water wordt verwarmd?

Deze vraag gaat over het verband tussen de tijd en de temperatuur.
Om deze vraag te beantwoorden, voer je een serie metingen uit. Je verwarmt het water met een brander. Om de minuut lees je de temperatuur van het water af op een thermometer. De meetresultaten noteer je in een tabel (zie figuur 13a). Na afloop geef je de meetresultaten weer in een grafiek.

Zo'n grafiek maak je als volgt (zie figuur 13bcd):

- **Stap 1: Teken een assenstelsel.**
- **Stap 2: Zet bij elke as een grootheid, met de bijbehorende eenheid.**
  Bijvoorbeeld: → tijd (min) en ← temperatuur (°C).
- **Stap 3: Zet langs beide assen een geschikte schaalverdeling.**
- **Stap 4: Teken de meetresultaten in als punten.**
- **Stap 5: Teken een rechte lijn of een vloeiende kromme die zo goed mogelijk bij de punten aansluit.** Je mag de punten niet een voor een met elkaar verbinden.
  Het geeft dus niet dat de rechte lijn of kromme niet precies door alle meetpunten loopt.



▶ **figuur 13**
van tabel naar grafiek

14 Een verslag schrijven

Bij een onderzoek hoort een verslag. In dat verslag leg je uit hoe het onderzoek is verlopen. Iemand die er niet bij geweest is, moet precies kunnen begrijpen wat er allemaal is gebeurd. Soms moet je ook een verslag maken van een practicumproef of een thuisopdracht.

Deel je verslag als volgt in:

- Titelpagina
  Hierop vermeld je: de titel van het onderzoek, de namen van de leerlingen in het onderzoeksgroepje, de klas, de naam van je docent, de datum en het jaartal.

- § 1 Onderzoeksvraag
  In deze paragraaf leg je uit welke vraag je met je onderzoek wilde beantwoorden.

- § 2 Werkplan
  Hierin staat:
  – een lijst met de spullen die je hebt gebruikt;
  – een tekening van de opstelling die je hebt gemaakt;
  – een korte beschrijving van wat je hebt gedaan.

- § 3 Onderzoeksresultaten
  Hierin vermeld je wat je hebt waargenomen of gemeten: in de vorm van tekst, tabellen, grafieken, foto's en dergelijke.

- § 4 Conclusie
  Hierin staat het antwoord op de onderzoeksvraag.

Een verslag hoort er goed uit te zien. Het gaat niet alleen om de inhoud van je verslag. Je moet die inhoud ook duidelijk en overzichtelijk presenteren.

Register

Colofon

Auteurs:
F. Alkemade
P. van Hoeflaken
R. Tromp

Met medewerking van:
Th. Smits

Illustraties:
Technisch tekenburo BB, Tiel
Flohr Vormgeving, De Meern
Anke Nobel, Lelystad

Cartografie:
Yde Bouma, Leusden

Ontwerp omslag:
Buro de Kuijper in samenwerking Uitgeverij Malmberg

Foto omslag:
Shutterstock
Binnenwerk openingsbeelden: Shutterstock,
Hollandse Hoogte, Corbis Images

Beeldverwerving:
Fundamentaal communicatie|educatie, Culemborg

Ontwerp:
Uitgeverij Malmberg

Opmaak:
Nieuwe Stijl

Foto's:
ANP Photo, Rijswijk: p. 19, 35, 38, 26
Getty Images, Amsterdam: p. 35, 69, 132, 241
Gijs Versteeg, Havelte: p. 175
Hollandse Hoogte, Amsterdam: p. 51, 52, 59, 69, 134, 288
Jakob Breimer, Zeeland: p. 16, 22, 25, 151
Joost Grol, Dieren: p. 15
NASA, : p. 272
Shutterstock: p. 14, 35, 50, 64, 71, 73, 107, 134, 147, 247, 261, 262, 287, 288, 289
Tympro Hearing Protection BV, Breda: p. 248
www.veterinary-thermal-imaging.com: p.65

ISBN 978 90 345 8347 5
Vierde editie, vijfde oplage

MALMBERG

AUTEURS:
F. Alkemade
P. van Hoeflaken
R. Tromp

MET MEDEWERKING VAN:
Th. Smits

ISBN 978 90 345 8347 5



551490

MALMBERG